Phys. Geogr.
20a
1

PHYSISCHE ERDKUNDE.

NACH DEN

HINTERLASSENEN MANUSCRIPTEN

OSCAR PESCHEL'S

SELBSTÄNDIG BEARBEITET UND HERAUSGEGEBEN

VON

GUSTAV LEIPOLDT.

ERSTER BAND.

LEIPZIG,

VERLAG VON DUNCKER & HUMBLOT.

1879.

Das Uebersetzungsrecht bleibt vorbehalten.

BIBLIOTHECA BAMBERGENSIS

DEM

ANDENKEN

OSCAR PESCHEL'S,

DES

UNVERGESSLICHEN MEISTERS GEOGRAPHISCHER FORSCHUNG,

IN DANKBARER VEREHRUNG

GEWIDMET.

VORWORT.

Es war am 31. August 1875, als ein sanfter Tod den viel gefeierten Genius hinwegnahm, welchem das vorliegende Werk seine geistige Urheberschaft verdankt. Die Trauerkunde von dem Dahinscheiden Oscar Peschel's erweckte in allen Gauen des deutschen Vaterlandes und weit über seine Grenzen hinaus um so tieferes Bedauern, als der Verblichene noch im rüstigsten Mannesalter, mitten in dem thatkräftigsten Wirken und Schaffen stand. Fürwahr, eine der schönsten Zierden der deutschen Wissenschaft war mit ihm in das Grab gesunken! Wer sich jemals mit dem Studium eines seiner Werke befasst hat, wird in ihm von Schritt zu Schritt den geistreichen Denker, den gründlichen Forscher erkannt und bewundert haben. Noch viel mehr aber ist das Herz für den bewunderungswürdigen Mann allen denjenigen aufgegangen, die das Glück hatten, als Schüler zu des Meisters Füssen zu sitzen und Jahre lang zu ihm in näheren Beziehungen zu stehen. Genossen sie doch neben den reichsten wissenschaftlichen Anregungen die persönliche Liebenswürdigkeit des grossen Gelehrten in einem Masse, wie man sie unter ähnlichen Verhältnissen vielleicht selten findet!

War Peschel auch lange vor seinem Scheiden von Todesahnungen erfüllt, so mochte er doch nicht glauben, dass das herbe Geschick ihn so bald ereilen sollte. Am 30. August, also einen Tag vor seinem Tode, als er bereits das Ende nahen fühlte, äusserte er: „Ich hätte noch so Vieles, hauptsächlich Literarisches zu ordnen; aber es kam jetzt gar zu rasch". Vor allem waren es die Collegienhefte über europäische Staatenkunde und über physische Erdkunde, welche den Kern des unvollendeten literarischen Nachlasses bildeten. Mit wahrhaft rührendem Fleisse hatte Peschel, obwohl körperlich ganz gelähmt, bis etwa eine Woche vor seinem Tode immer noch Notizen in dieselben eingetragen — ein Beweis dafür, dass ihm diese Hefte sehr theuer waren und dass er wohl an eine Bearbeitung derselben nach seinem

Tode gedacht haben mag. Irgend welche bestimmten Dispositionen über dieselben hat er jedoch nicht getroffen. Nur erwiderte er auf die Frage seiner Gattin, was mit seinen Collegienheften werden solle, dass sich in ihnen nur einer seiner Schüler zurecht finden könne, der die betreffenden Collegien nicht allein gehört habe, sondern auch selbst eine gute Nachschrift besitze; in solchem Falle aber könne er sie wohl zu einer Bearbeitung benützen.

Nie würde es mir, der ich damals kaum das akademische Studium absolvirt hatte, in den Sinn gekommen sein, ein so schwieriges und verantwortungsvolles Werk zu übernehmen, wenn nicht Herr Professor Dr. Alfred Kirchhoff in Halle, dem ich in manigfacher Beziehung zu innigem Danke verpflichtet bin, mich gegen Anfang November 1875 direct hierzu aufgefordert hätte. Frau Geheimräthin Prof. Peschel stellte mir hierauf in zuvorkommendster Weise die von mir gewünschten Manuscripte zur Verfügung, und ich erwählte mir die physische Erdkunde zur Bearbeitung, nicht bloss weil sie von jeher ein Lieblingsgegenstand meines Studiums war, sondern auch weil ich die Vorlesungen über dieselbe zweimal (im Sommer 1871 [1]) als zweistündiges, im Winter 1872 bis 1873 als vierstündiges Collegium) gehört hatte. Meinem verehrten Freunde Herrn Dr. O. Krümmel, Privatdocent in Göttingen, fiel die Herausgabe der europäischen Staatenkunde zu.

Was die hinterlassenen Hefte betrifft, so enthielten diese keineswegs die bis in's Détail ausgearbeiteten Vorträge, sondern meist nur skizzenartige Andeutungen. Peschel beherrschte, wie sich dies insbesondere in den Colloquien und bei den Uebungen im geographischen Seminar unverkennbar zeigte, den Lehrstoff mit einer ausserordentlichen Sicherheit und Klarheit; daher genügte ihm denn auch für seine Vorlesungen eine etwas specialisirte Angabe des Gedankenganges völlig. Der Herausgeber besass demnach zu dem vorliegenden Werke wohl den von dem Meister entworfenen Plan, gewissermassen die scharf vorgezeichneten Grundlinien; aber die Aufführung des Gebäudes war zu einem nicht geringen Theile seine eigene selbstständige Arbeit.

Im Anfang beabsichtigte ich, die Vorlesungen Peschel's auf Grund seiner und meiner sehr reichlichen und lückenlosen Aufzeichnungen möglichst getreu so wiederzugeben, wie sie von ihm selbst gehalten worden waren. Die auf diese Weise geschaffenen Abschnitte befriedigten mich jedoch so wenig, dass ich mich sehr bald genöthigt sah, ein ganz anderes Verfahren einzuschlagen. Sollte das Werk auf sicherem Fundamente ruhen, so musste ich überall auf die von Peschel benützten Originalquellen zurückgehen und das ganze umfang-

[1]) Peschel eröffnete Ostern 1871 mit diesen Vorträgen seine akademische Thätigkeit.

reiche Material, welches Peschel selbst verwerthet hatte, einem eingehenden Studium unterwerfen. Erwünschte Fingerzeige gaben mir hierbei nicht nur die Manuscripte selbst, in denen sich zahlreiche Citate vorfinden, sondern auch diejenigen Jahrgänge des „Auslandes“, welche Peschel selbst redigirt hatte. Erst nachdem dies geschehen war, vermochte ich mit grösserer Sicherheit den Gedanken des Meisters nachzugehen, in seinem Geiste das Werk weiter auszubauen und zu vollenden. Selbstverständlich sind von mir auch alle diejenigen wissenschaftlichen Arbeiten berücksichtigt worden, welche seit Peschel's Tod erschienen sind. Fast vier Jahre hindurch habe ich nahezu alle meine Mussestunden und Ferien, die mir der Beruf eines Gymnasiallehrers gewährt, unverdrossen diesem Werke gewidmet; es würde mich sehr freuen, wenn dies nicht ganz ohne Erfolg gewesen wäre.

Naturgemäss musste ich die „Neuen Probleme der vergleichenden Erdkunde“ mit in das Werk aufnehmen. Sie wurden bereits vor mehr als zehn Jahren niedergeschrieben; es ist daher leicht begreiflich, dass sich manigfache, hie und da sehr bedeutende Aenderungen und Ergänzungen nothwendig erwiesen. Ich habe mich hierbei immer von dem Grundsatze leiten lassen, nur da die Hand zu Correcturen anzulegen, wo es mir dringend wünschenswerth erschien oder wo Peschel selbst es angedeutet hatte. Jeder den „Neuen Problemen“ entlehnte Abschnitt ist übrigens mit einer darauf bezüglichen Nota versehen, welche zugleich ausspricht, in welchem Grade derselbe einer Neubearbeitung bedurfte.

Von denjenigen Männern, welche selbst Peschel's Vorlesungen über physische Erdkunde einst gehört haben, möchten mir vielleicht einige den Vorwurf machen, dass ich mehrfach zu weit von der gegebenen Grundlage abgewichen sei und dass ich mich strenger an das von Peschel hinterlassene Manuscript hätte halten sollen. Ich darf hierauf erwidern, dass ich in dieser Hinsicht jedenfalls ganz in Peschel's Sinne gehandelt habe. Zum Zeugniss hierfür berufe ich mich auf eine Stelle aus dem Berichte Peschel's über das Werk „Briefwechsel A. v. Humboldt's mit Heinrich Berghaus“ (Leipzig 1863), in welchem Peschel wörtlich Folgendes sagt (s. Ausland 1863, S. 1082 f.):

„A. v. Humboldt war von Paris nach Berlin übergesiedelt, und von dort schreibt er im December 1827: „„Die unerwartet lebhafte Theilnahme, welche meine Vorlesungen über physische Geographie finden, wodurch ich mich sehr beschämt fühle, wird wahrscheinlich Anlass geben, dass ich sie in irgend einer Form drucken lasse.““ Dies war die erste Anregung zu dem späteren Kosmos. Herr v. Cotta (der Grossvater) machte A. v. Humboldt den Vorschlag, er solle die

Vorlesungen stenographisch niederschreiben lassen, dann sie überarbeiten und in dieser Gestalt veröffentlichen. Er misskannte aber darin A. v. Humboldt gänzlich. Das Wort auf dem Lehrstuhl ist doch ein anderes als das geschriebene Wort, und nichts ist dem Ruhme grosser Gelehrten schädlicher gewesen, als wenn man Collegienhefte aus ihren Vorlesungen in Umlauf gesetzt hat. A. v. Humboldt sagte daher ausdrücklich, dass ein geschriebenes Werk reiflicher überlegt und durch Citate beglaubigt werden müsse. Endlich war noch ein anderer Grund vorhanden. Ein Mann von so hohem schriftstellerischen Rang wie A. v. Humboldt macht, wenn er gedruckt vor der Welt erscheint, stets eine strenge stylistische Toilette . . . Wenn auch sein mündlicher Vortrag nach dem Urtheil aller, die ihn gehört haben, hinreissend und bezaubernd gewesen sein soll, so folgt doch daraus noch nicht, dass es der gedruckte Vortrag auch gewesen sein müsste."

Diese Worte rechtfertigen mein Verfahren völlig. Noch einmal unter Benützung der Originalquellen das Ganze sorglich zu prüfen, es in Peschel'schem Geiste darzustellen, ihm eine ansprechende Form zu verleihen, soweit dieselbe nicht schon vorhanden war, und es durch Literaturnachweise zu ergänzen: dies alles erschien mir unter den vorliegenden Umständen ebenso sehr Pflicht zu sein, wie es in dem obigen Falle unter ganz ähnlichen Verhältnissen A. v. Humboldt und ebenso Peschel als solche erkannten.

Schliesslich erlaube ich mir noch, Herrn Prof. Dr. A. Kirchhoff in Halle a. d. S., Herrn Prof. Dr. S. Ruge in Dresden, Herrn Dr. O. Krümmel in Göttingen, sowie all den Freunden, die mir wiederholt mit Rath und That bei dieser Arbeit zur Seite standen, für ihre freundliche Unterstützung meinen herzlichsten Dank auszusprechen. Vor allem aber gedenke ich, indem ich dieses Werk der Oeffentlichkeit übergebe, in dankbarer Liebe des unvergesslichen Mannes, dem dasselbe gewidmet ist und dessen Geist aus diesen Blättern spricht. Möge dieses Werk ein Denkmal sein, welches des grossen Meisters nicht unwürdig ist!

Dresden, am 27. Juli 1879.

Dr. phil. **Gustav Leipoldt,**

Oberlehrer am Kgl. Gymnasium zu Dresden-Neustadt.

INHALT.

Seite

Einleitung . 1

ERSTER THEIL.

DAS WELTALL.

I. Die räumliche Begrenzung der Körperwelt 15
II. Die zeitliche Begrenzung der Körperwelt 38
III. Die Sonne . 57
IV. Die günstige Stellung der Erde im Sonnensystem 78
V. Die Meteorite . 107
VI. Die Cometen . 120

ZWEITER THEIL.

DER ERDKÖRPER.

I. Gestalt und Grösse der Erde 139
II. Localattraction und Dichtigkeit der Erde 173
III. Die Eigenwärme der Erde 183
IV. Der Vulcanismus 201
V. Erdbeben . 244
VI. Die Kant-Laplace'sche Hypothese und die Gluthflüssigkeit des Erdinnern . 273
VII. Schichtenbau der abgekühlten Erdrinde 288
A. Allgemeine Vorbemerkungen 288
B. Die geologischen Formationen 302
1. Die archäische Formationsgruppe 302
2. Die paläozoische Formationsgruppe 305
3. Die mesozoische Formationsgruppe 318
4. Die känozoische Formationsgruppe 328
C. Die Kohle, ihr Abbau und ihre wirthschaftliche Bedeutung 339
VIII. Ueber das Aufsteigen und Sinken der Küsten 352
IX. Ueber die Verschiebungen der Welttheile seit den tertiären Zeiten 385
X. Geographische Homologien 393

Seite

XI. Die Abhängigkeit des Flächeninhalts der Festlande von der mittleren Tiefe der Weltmeere 405
XII. Die Modellirung der Küsten. Dünenbildung 433
XIII. Die Fjordbildungen . 461
XIV. Ueber den Ursprung der Inseln 486
XV. Die Thier- und Pflanzenwelt der Inseln 507
XVI. Ueber die Lage, den Bau und die Entstehung der Gebirge (mit besonderer Berücksichtigung der Alpen) 532
XVII. Ueber Terraindarstellung 561

EINLEITUNG.

Wir geben mit den nöthigen unwesentlichen Veränderungen diejenige Vorlesung Peschel's wieder, mit welcher er seine Vorträge über physische Erdkunde einleitete. Man wird sofort erkennen, dass es sich hierbei nicht bloss um eine Einleitung in die physische Erdkunde oder in die Erdkunde überhaupt handelt, sondern zugleich um Darlegung seiner Lehrmethode und einiger wichtiger allgemeiner Grundsätze, die ihn bei seinen Forschungen leiteten. Indem wir diese Einleitung publiciren, entsprechen wir zunächst dem Wunsche vieler seiner ehemaligen Hörer; doch dürfte sie auch für weitere Kreise von Interesse sein.

Die Erdkunde war ehemals wie die Zoologie und Botanik eine beschreibende Wissenschaft. In neuerer Zeit hat sie sich gleich den beiden anderen genannten Disciplinen insofern zu einer höheren Stufe erhoben, als sie sich nicht auf Beschreibung der Naturdinge beschränkt, sondern zugleich Entwicklungsgeschichte sein will. Die physische Erdkunde ist in gewissem Sinne eine Entwicklungsgeschichte unseres Planeten.

Die Erde bewegt sich in einem körper- und stofferfüllten Raum; daher lenken wir unsere Blicke zuerst hinaus in diesen Raum auf die Welten, welche derselbe umschliesst. Vom Stoff unzertrennlich ist die Kraft, welche sich äussert in der Bewegung der Körper und sinnlich wahrnehmbar wird als Fluggeschwindigkeit, als Vibration des Aethers oder Licht, als Wärme, Elektricität, Magnetismus und chemische Anziehung. Geheimnissvoll erscheint uns insbesondere der Kreislauf der Kräfte im Organismus.

Die physische Erdkunde beschäftigt sich hauptsächlich mit denjenigen Kräften, welche an der Oberfläche und in den obersten Schichten der Erde ihre Thätigkeit entfalten; wir haben daher vielfach Fragen der dynamischen Geologie in den Kreis unserer Betrachtungen zu ziehen. Das Verständniss der physischen Erdkunde setzt somit die Bekanntschaft mit den Elementen der Geologie und, da es sich hier meist um Kräfte handelt, welche die anorganische Natur beherrschen, auch mit denen der Physik und Chemie voraus. Zur Besprechung der Gestalt und Grösse der Erde, sowie ihrer Stellung zu anderen Himmelskörpern sind Vorkenntnisse in der Astronomie erwünscht.

Von der Geologie unterscheidet sich die Erdkunde insbesondere dadurch, dass sie unseren Planeten auch als Wohnort von Organismen ansieht, während die Geologie dieselben nur als Hilfsmittel zu geologischen Altersbestimmungen benützt. Der Wohnort organischer Wesen

aber richtet sich zum Theil nach deren Eigenthümlichkeiten. Daher sind auch Vorkenntnisse in der Botanik und Zoologie zum Studium der physischen Geographie erforderlich.

Zu noch höheren Zielen strebt die Erdkunde empor, wenn sie die Erde nicht bloss als Schauplatz geologischer oder meteorologischer Kräfte, als Verbreitungsgebiet von Pflanzen und Thieren, sondern auch als Wohnstätte des Menschen betrachtet. Hierzu ist wiederum nothwendig die Kenntniss der wichtigsten anatomischen Ausdrücke für das Verständniss der Racenmerkmale, ferner eine Art kosmopolitischer Philologie bei Besprechung der Sprachentwicklung und der Sprachtypen.

Das letzte und höchste Problem der Erdkunde ist die Beantwortung der Frage: Wie haben die einzelnen Planetenräume auf den Entwicklungsgang der Völker und unseres ganzen Geschlechtes zurückgewirkt? Der Anblick der Erdgemälde soll uns dahin führen, in der Vertheilung von Land und Wasser, von Ebenen und Höhen eine von Anfang an gegebene oder, wenn man will, beabsichtigte Wendung menschlicher Geschicke zu durchschauen [1], soll uns erkennen lehren, dass die Cultur- und Völkergeschichte durch örtlich herrschende Naturerscheinungen mitbedingt wird. Also sind auch Kenntnisse in der Culturgeschichte und in der Geschichte überhaupt zum Studium der Erdkunde nothwendig. Doch kommt in den nachfolgenden Betrachtungen, die ausschliesslich der physischen Erdkunde gewidmet sind, die historisch-anthropologische Seite der Erdkunde in Wegfall.

Es wird unsere Aufgabe sein, die angedeuteten Vorkenntnisse im Gange der Untersuchung in möglichst fasslicher Weise zu ergänzen. Die Zeiten sind vergangen, wo man unklar zu sein sich bemühte, um geistreich zu erscheinen, wo die Gelehrten vornehm auf den Laien herabsahen und zur Wahrung ihrer eigenen priesterlichen Würde sich in das Dunkel einer technischen Sprache, einer Art Diebessprache zu hüllen liebten. Die Franzosen haben ein geflügeltes Wort, lautend: Ce qui n'est pas clair, n'est pas français. Ebenso sagen wir: Das Unverständliche ist unwissenschaftlich. Indem die Wissenschaft sich ihres früheren ausschliessenden Kastengeistes entkleidet, verliert sie zwar jenen trügerischen Heiligenschein, mit welchem sie sich vordem zu umgeben und oft sich Bewunderung zu verschaffen suchte, jedoch nur um an allgemeiner Anerkennung und Achtung desto mehr zu gewinnen [2].

Die Anziehungskraft, welche die Erdkunde auf ihre Jünger aus-

[1]) O. Peschel, Geschichte der Erdkunde. 2. Aufl. (herausgeg. von S. Ruge). München 1877. S. XVI f.

[2]) Vgl. Peschel im Ausland 1870, S. 251.

übt, beruht zunächst auf der Vielseitigkeit des geographischen Stoffes. In der That ist keine Wissenschaft weniger verlegen um Neuigkeiten, und mit dem Erlernen kommt man nie zu Ende. Aber sie bietet noch viel mehr. Wer Freude hat am Erkennen von Ursache und Wirkung, der begegnet hier nur fesselnden Gegenständen. Schon könnte man fast wähnen, es sei die Zeit der Faustseufzer über das Unzureichende menschlicher Erkenntnisse längst vorüber; denn in den letzten Jahrzehnten hat die Naturwissenschaft viele Probleme gelöst und ist der Erkenntniss dessen immer näher gekommen,

„was die Welt
Im Innersten zusammenhält“.

Indessen steht der Forschung noch ein weites Arbeitsfeld offen; noch sind wir nicht in alle Geheimnisse der Schöpfung eingedrungen; ja wir stehen vielleicht erst im Vorhof zum Sanctissimum. Wir müssen bekennen, dass gerade darin die grosse Anziehungskraft der Forschung liegt: so oft das Geistesauge des Menschen weiter hinausschweift, findet es neue Horizonte und in diesen neue Rahmen von grösseren, vollendeteren Gesammtbildern. Aber wie oft dies auch der Fall ist, so erreichen wir doch nie denjenigen Horizont, der das Ende, das letzte Ziel der Forschung zu bezeichnen vermöchte. Gerade dieses Vordringen nach neuen Horizonten verleiht der Gegenwart ihre Bedeutung und ihre besonderen Reize.

Auch die physische Erdkunde ist während der letzten Jahrzehnte in manigfacher Hinsicht durch neue Erkenntnisse bereichert worden. So hat uns die Spectralanalyse, die zu einer Dienerin der Astrophysik geworden ist, die physische Beschaffenheit der Weltkörper und die Vorgänge auf ihrer Oberfläche erschlossen. Zahlreiche Gelehrte sind unablässig bemüht, die Gestalt der Erde auf's Genaueste zu ermitteln, die thermischen und geologischen Verhältnisse der oberflächlichen Schichten des Erdkörpers zu erforschen, durch sinnreiche Instrumente die Tiefen der Meere zu ergründen und die Temperaturen derselben zu messen. Bereits wird die Erde von einem förmlichen Netz meteorologischer und magnetischer Stationen umspannt, und in ununterbrochener Folge erhalten wir von dorther schätzbare Beiträge zur Erkenntniss der Wärme- und Feuchtigkeitsverhältnisse, sowie der magnetischen Kräfte der Erde. Ebenso ist die Verbreitung der Gewächse und Thiere ein von vielen Forschern mit besonderer Vorliebe und grossem Eifer cultivirtes Gebiet. Ueberall begegnen wir neuen Thatsachen oder älteren Thatsachen im Lichte neuer Erkenntniss; die älteren Theorien werden berichtigt, die früheren Lehren verschärft.

Die physikalische Erdkunde ist in unserer Zeit zu einem unerlässlichen Bildungsmittel geworden. Sie sollte nicht bloss von einzelnen

aus Beruf oder Neigung getrieben werden, sondern von jedem, der für die Natur einen Sinn und ein Herz hat, also eigentlich von jedem Gebildeten. Namentlich ist sie für den Historiker und den Publicisten eine unentbehrliche Hilfswissenschaft.

Die bedeutendste physische Erdkunde, welche jemals geschrieben wurde, ist A. v. Humboldt's Kosmos. Derselbe erschien im Jahre 1845 in mehr als 30,000 Exemplaren, obwohl kaum tausend Deutsche damals im Stande waren, ihn fliessend wie einen Roman zu lesen. Man ist in unseren Tagen dazu geneigt, den Werth des Kosmos zu unterschätzen, weil sich die Wissenschaft seitdem zu höheren Wahrheiten erhoben hat. Wir können dieser Anschauung nicht zustimmen; denn ein Werk kann man nur gerecht beurtheilen im Rahmen der Zeit, in welcher es erschien. Der Kosmos aber stand einstmals auf der Höhe der Zeit. Er enthält Tausende von Wahrheiten, von Thatsachen, von Messungen und von Werthen, welche das Beste und Genaueste sind, was die damalige Wissenschaft zu bieten hatte; er ist eine imago mundi, ein Weltspiegel, wie er getreuer im Jahre 1845 nicht verfasst werden konnte. Für die Geschichte der Wissenschaft bleibt er eine Art unvertilgbare Fluthmarke, insofern darin die Summe der wichtigsten naturwissenschaftlichen Erkenntnisse sämmtlicher modernen Culturvölker bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts niedergelegt ist[1]).

Es darf ferner nicht verkannt werden, dass wohl kaum ein Buch mehr Anregung zu wissenschaftlichen Forschungen gegeben hat als der Kosmos. Es lag schon darin ein unendlicher Gewinn für ein Volk, dass es verstehen lernte, welch tiefer Sinn in dem Titelwort Kosmos liegt. Der Kosmos umfasst die sinnlich wahrnehmbare Welt, das All. Wir reden von kosmischen Vorgängen im Gegensatz zu tellurischen und verstehen unter jenen solche Vorgänge, deren Schauplatz nicht auf diese Erde beschränkt ist, sondern auch andere Himmelskörper umfasst. Allein das Wort Kosmos hat noch einen Geheimsinn, durch welchen es sich von den synonymen Ausdrücken Universum, Weltall unterscheidet. Kosmos bedeutet zugleich und recht eigentlich Schmuck, Ordnung, Harmonie. A. v. Humboldt wollte mit dem Titel Kosmos zugleich den Grundgedanken seines Werkes zum Ausdruck bringen, den Gedanken nämlich: das Weltall ist nicht willkürlich gestaltet und wird ebenso wenig launenhaft regiert, sondern es wird von unabänderlichen, unerbittlichen Gesetzen beherrscht. Das

[1]) O. Peschel in A. v. Humboldt, eine wissenschaftliche Biographie (herausgeg. von C. Bruhns). Leipzig 1872. Bd. III, S. 228. — Ausland 1859, S. 491 f. — O. Peschel, Abhandlungen zur Erd- und Völkerkunde (herausgeg. von J. Löwenberg). Leipzig 1877. Bd. I, S. 361.

Wort Kosmos weist also auf eine gesetzmässige Verknüpfung aller Erscheinungen hin. Der Kosmos ist eine Welt der berechenbaren Kraftäusserungen; er ist das, was Leibnitz eine vorbedachte Harmonie nennt. Alfons der Weise von Castilien hatte schon — ganz so wie einige neuere Philosophen — geäussert, dass manches in der Welt nicht musterhaft eingerichtet sei. Nun sprach derselbe zwar von der Welt, welche im Ptolemäischen System zur Darstellung gelangte; doch ist selbst die gegenwärtig besser gekannte menschlich gedacht nicht die angenehmste, bequemste, heiterste, von Ungemach freieste Welt, aber ohne Zweifel die möglichst beste.

Wir bezeichneten oben diese Welt als eine gesetzmässige, und doch zeigt dieselbe in ununterbrochener Folge ein Wunder, welches vielleicht niemals unserer Erkenntniss erschlossen wird. Dasselbe besteht darin, dass ein Organismus, der ja im Grunde nichts anderes ist als eine physiologische Maschine, zum Denken gelangt und dass der Gedanke wieder umgekehrt eine ihm entsprechende Bewegung des Organismus zu veranlassen vermag. Die Anatomen und Physiologen wollen diese Thatsache durch eine Molecularbewegung im Gehirn erklären. Allein die von ihnen angenommenen Molecüle und noch vielmehr deren Bewegungen gehören in das Reich der Hypothese. Und gesetzt selbst, wir wollten uns jenen Vorgang durch Annahme einer Molecularbewegung verständlich machen, so würde er schliesslich doch noch immer dasselbe Geheimniss für uns bleiben, welches er vorher war; denn wir vermögen uns schlechterdings nicht zu denken, wie durch Molecularbewegung auch nur ein einziger Gedanke sich entwickeln kann. Noch wunderbarer aber ist es, dass Gedanken und Gefühle, nachdem man ihnen sinnliche Formen verliehen hat, eben durch diese Formen wieder hervorgerufen werden können. So wirkt das einstmals Gedachte oder Gefühlte, durch Meisel, Pinsel oder Feder fixirt, sogar durch Jahrhunderte und Jahrtausende hindurch auf die Erkenntniss, das Gemüth und den Willen des Menschen. Können wir aber verstehen, wie der starre Marmor, die unbelebte Farbe, der todte Buchstabe im Stande sind, Einflüsse auf das innerste Geistesleben des Menschen geltend zu machen?

In dem Kosmos, der ebenso sehr eine Welt strengster Gesetzmässigkeit ist wie eine Welt für uns unerfassbarer Thatsachen, beobachten wir auch eine Reihe von Vorgängen, welche sich mehr als die anderen aller Berechnung entziehen: dies sind die Handlungen des relativ freien Menschen. Relativ frei ist der Mensch — was soll das heissen? Jeder Mensch ist in verschiedene Lebenskreise hineingestellt; familiäre, nationale, religiöse Bande verknüpfen ihn mit anderen, und er empfängt innerhalb dieser Kreise mancherlei Anregungen, welche

seiner Entwicklung ganz bestimmte Züge aufprägen. Und da jene Kreise selbst gewissen Entwicklungsgesetzen unterworfen sind — wie denn so häufig die Staaten, Organismen gleich, alle Entwicklungsphasen vom Keime bis zum Tode durchlaufen — so ist der einzelne immer zugleich auch von dem jeweiligen Charakter derselben sehr beeinflusst; er ist — wie wir zu sagen pflegen — ein Kind seiner Zeit und als solches nur in gewissem Sinne frei.

Wie verträgt sich nun kosmische Ordnung und menschliche Freiheit?

Man hat die menschliche Freiheit wohl gar mit der eines Thieres verglichen, welches an der Kette liegt und nur innerhalb eines engen Kreises sich frei bewegen kann, oder mit derjenigen eines Passagiers auf einem transatlantischen Dampfer, dem es freisteht, eine schwarze oder weisse Cravate anzulegen, dieses oder jenes zu speisen. Wir möchten die menschliche Freiheit durch ein anderes Bild darstellen. Von zwei Schachspielern, die am Brete sitzen, soll der eine das unerbittliche kosmische Gesetz vertreten, den stärksten sittlichen oder sinnlichen Reiz zu einer vorsätzlichen That, der andere dagegen die menschliche Freiheit. Jener Schachspieler beginnt und thut stets den denkbar richtigsten, dem Gegner verderblichsten Zug. Der Typus des Spieles (ob Evans-Gambit oder Giuco Piano oder spanische Partie) ist nach den Eröffnungszügen bekannt; aber der Verlauf, der Gang des Spieles hängt vom zweiten Spieler ab. Ob er früher oder später, kläglich oder glänzend endet, ist Sache seines Spiels, seiner Kunstfertigkeit, seiner Freiheit. Auch der Mensch hat einen Kampf zu führen mit zahlreichen feindlichen Mächten, die ihn umgeben. Hier gilt es, die sittliche Kraft zu stählen, die Würde zu bewahren und das Feld in jedem Falle zu behaupten. Am Schachbrete wird uns dies um so leichter gelingen, je besser wir den Gegner und sein Gegenspiel kennen; denn in diesem Falle sehen wir etwaige Missgriffe, noch ehe sie gethan sind, und können sie daher leicht vermeiden. Etwas Aehnliches erstrebt die Wissenschaft; sie sucht die Gesetzmässigkeit der Vorgänge zu durchschauen, um dieselben voraus berechnen zu können. Im Besitze solcher Kenntnisse aber vermag der Mensch viel leichter Gefahren abzulenken und Handlungen mit Erfolg auszuführen als ohne dieselben. Es ist darum eine überaus wichtige Aufgabe der Wissenschaft, die Gesetze zu ergründen, welche die anorganische wie die organische Welt, die Natur wie das Völkerleben und das Leben des einzelnen beherrschen.

Derartige Gesetze nachzuweisen, ist der Hauptzweck dieses Werkes. Wir beschränken uns hierbei, dem Titel des Buches entsprechend, im wesentlichen auf diejenigen Vorgänge, deren Schau-

plätze unsere Erde, ihre obersten, erstarrten Schichten, das Meer und der Luftkreis sind.

Der erste Theil behandelt vorzugsweise die Beziehungen der Erde zum Kosmos. Wir werden uns hier zunächst die Fragen vorlegen: Ist die Körperwelt räumlich und zeitlich begrenzt, d. h. ist der ganze unendliche Raum mit Himmelskörpern erfüllt und wird die Welt ewig bestehen? Oder sind in beiden Beziehungen Grenzen gesetzt? Dann haben wir uns mit den Ergebnissen der neueren Astrophysik zu beschäftigen, welche — insbesondere mit Hilfe der Spectralanalyse — zu ungeahnten Enthüllungen geführt hat. Wir verlassen hier scheinbar unsere eigentliche Aufgabe, und man könnte den Einwand erheben: Warum werden Stoffe, die der Astronomie angehören, in den Kreis dieser Abhandlungen über physische Erdkunde gezogen? Unsere Antwort hierauf lautet: Weil erst durch einen Vergleich der Erde mit anderen Himmelskörpern gefunden werden kann, was dieselbe ist und was sie nicht ist. Von besonderem Interesse ist es zu wissen, ob die Stellung der Erde im Sonnensystem für die Entwicklung organischen Lebens eine vergleichsweise günstige ist oder nicht.

Auf den kosmologischen Theil folgt als zweiter ein geologischer. Wir betrachten in demselben die Gestalt und Grösse der Erde, ihre Eigenwärme, die vulcanischen Kräfte, die Erdbeben, die Zustände des Erdinnern und werden so vorbereitet auf eine Besprechung der Kant-Laplace'schen Hypothese.

Hierauf durchschreiten wir die geologischen Zeitalter und versuchen den Bau, sowie die Entstehung der Gebirge zu erklären. Von der Plastik der Festlande wenden wir uns zur Morphologie ihrer horizontalen Umrisse. Dieser Theil der Erdkunde ist von besonderer Wichtigkeit. Die Landkarten gewähren das trügerische Bild der Ruhe und des Erstarrten, des Beharrlichen und Unabänderlichen, während doch in Wahrheit die verticale und horizontale Gliederung der Erdtheile unausgesetzt dem Wechsel unterworfen ist. Die Landkarten, die vorher nichts als trockene Abbilder für uns waren, bekommen nun den Reiz historischer Gemälde. Wir werden dann bei einem Blick auf die Nordküste von Frankreich nicht bloss Buchten und Inseln wahrnehmen, sondern zugleich die ausserordentlichen Verheerungen der Küste durch Meeresfluthen. Die Zusammenschaarung grösserer Inseln in der Nähe des Festlandes wird uns über Senkungserscheinungen belehren. Andere Inseln werden wir aus Lage und Gestalt sofort als vulcanische oder madreporische erkennen u. s. w.

Der (dritte) meteorologische Theil beginnt mit der Betrachtung der Weltmeere, welche durch Ebbe und Fluth rhythmisch gehoben, verschieden erwärmt und durch Meeresströmungen in beständiger Be-

wegung erhalten werden. Von den Oceanen wenden wir uns zu dem Luftmeer und besprechen seine etagenweise abnehmende Dichtigkeit, seinen Druck und die Möglichkeit, aus demselben mit Hilfe des Barometers die Höhe zu messen, seine Erwärmung durch die Sonnenstrahlen, die durch Temperaturdifferenzen erzeugten Strömungen oder Winde, den Wasserdampfgehalt der Luft und die Regenvertheilung, die Entstehung und verschiedenartige Beschaffenheit der Quellen, die Bildung der Seen, die Gletscher, die Entwicklung der Flüsse und Ströme, deren physische Aufgaben und Leistungen und den Bau der Thäler.

Einen Anhang zu dem meteorologischen Theil bildet der Abschnitt über die magnetischen Kräfte unseres Planeten. Wir verkennen durchaus nicht die Wichtigkeit derselben; doch wurden sie früher, insbesondere zu A. v. Humboldt's Zeiten, bedeutend überschätzt. Sie mussten Erscheinungen erklären, die durchaus nicht in irgend einer Beziehung zum Erdmagnetismus stehen; sprach doch der englische Geolog Sir Roderick Murchison sogar die Vermuthung aus, dass der auffallende Reichthum der Meridiangebirge an Gold in Beziehung stehe zu den magnetischen Strömen, welche die Erde umkreisen!

Der vierte Theil ist der Betrachtung des organischen Lebens auf Erden gewidmet. Es ist hier zuerst zu erörtern, inwiefern das Auftreten und die Verbreitung der Gewächse an gewisse klimatische Voraussetzungen gebunden ist. Da die Bekleidung des Bodens mit organischen Formen jedem grösseren Erdraum einen besonderen landschaftlichen Charakter verleiht, so schliessen wir hieran eine Untersuchung ästhetischer Art über die Physiognomik der Pflanzen. Ist die Verbreitung der Gewächse an klimatische Bedingungen geknüpft, so gilt dies mehr oder weniger auch von den Thieren; zugleich sind diese aber auch von dem Pflanzenleben mittelbar oder unmittelbar abhängig. Auch dieses ist nachzuweisen, und endlich ist zu zeigen, welche charakteristischen Thiere den einzelnen Erdräumen zukommen. Die Verbreitung der Pflanzen und Thiere aber lässt uns vieles ahnen über die Schicksale, welche gewisse Festländer, gewisse Inselgruppen und Inseln getroffen haben.

Der Mensch bleibt hier ausgeschlossen, obwohl er einer ähnlichen Betrachtungsweise unterliegt, einfach deswegen, weil dieser Stoff in die Völkerkunde gehört.

Es handelt sich in dem Folgenden nicht bloss um Mittheilung der Ergebnisse älterer und neuerer Forschung, sondern vor allem auch darum, dem Geiste Anregung zu geben zu neuem Nachdenken über die Grösse und Erhabenheit des Weltgebäudes und dem Verstande eine grössere Sicherheit und männliche Entschiedenheit im Urtheilen und Schliessen zu verleihen. Der Nachweis von Gesetzen

welche das Weltall beherrschen, ist in hohem Grade hierzu geeignet. Wir haben es hier ja nicht mit blossen Aussprüchen von diesem oder jenem Gewährsmann zu thun, dem wir unbedingt glauben müssen, sondern mit Regeln, welche sich streng vollziehen, aber von uns erst aufgesucht und durch Thatsachen erhärtet werden müssen. Immer entscheidet hierbei die Wucht des Beweises, niemals die Auctorität dieses oder jenes Gewährsmannes. Sind gewisse Gesetze noch nicht streng erwiesen, sondern ist ihre Geltung nur durch eine Menge Indicien sehr wahrscheinlich gemacht, so sind dieselben Theorien, die unter kritischen Vorbehalten anzunehmen sind, oder es sind Hypothesen, mit denen es jeder halten kann, wie er will. Nur gilt hier die Regel, dass eine Hypothese nie als Beweismittel gelten darf zur Stützung einer Theorie und dass es durchaus unstatthaft ist, auf eine Hypothese eine andere Hypothese aufzubauen.

Von diesen Grundsätzen haben wir uns beim Entwurf des vorliegenden Werkes leiten lassen.

ERSTER THEIL.

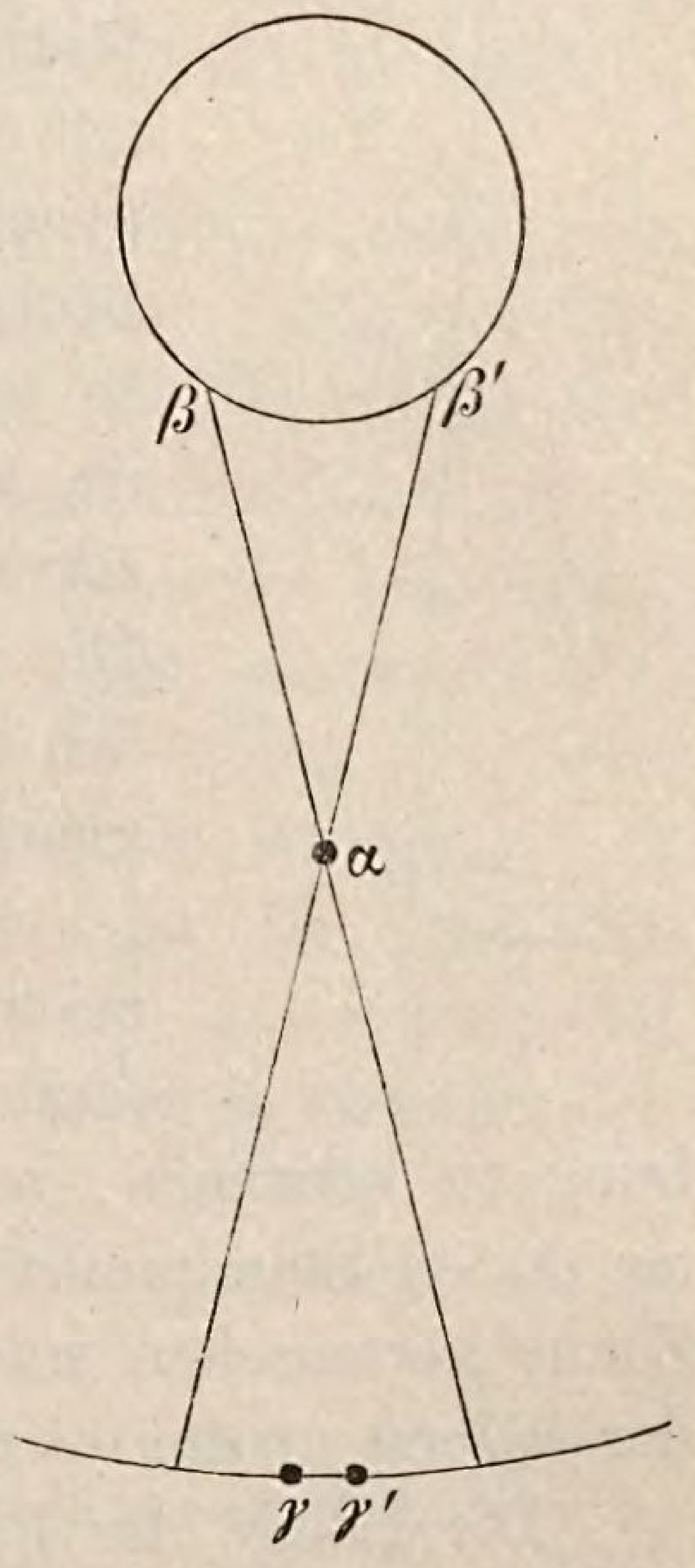
DAS WELTALL.

I. Die räumliche Begrenzung der Körperwelt.

Die physische Erdkunde beschäftigt sich mit der Natur unseres Planeten und den Kräften, welche auf ihm ihr Spiel treiben. Viele der Kraftäusserungen, die auf ihm wahrgenommen werden, kommen von aussen. Es ist deshalb wichtig, die Welt kennen zu lernen, in welcher er sich bewegt; auf sie lenken wir daher zuerst unsere Blicke.

Die Erde ist ein Glied des Sonnensystems und dieses wieder ein Theil der grossen, sinnlich wahrnehmbaren Körperwelt, welche am gestirnten Nachthimmel uns entgegen leuchtet. Es erhebt sich nun die Frage: Ist diese Körperwelt räumlich begrenzt oder ist sie wieder nur ein kleines Gebiet eines von unendlich vielen Welten erfüllten Universums?

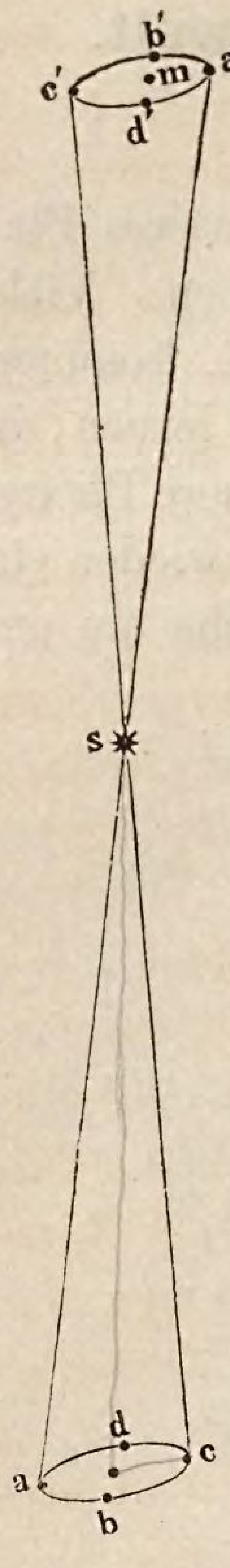
Fig. 1.



Die Ansichten darüber haben von jeher geschwankt. Am niedrigsten erschien das Himmelsgewölbe den Forschern des Alterthums, und wie konnte es auch anders sein zu einer Zeit, in welcher die Ansicht herrschend war, dass der gesammte Fixsternenhimmel und die Planeten die ruhende Erde umkreisten! Daher begreifen wir Aristoteles' Forderung, dass man eine optische Verschiebung der Fixsterne wahrnehmen müsse, wenn die Erde eine Rotation um ihre Axe besässe. So müsste nach aristotelischen Vorstellungen, falls sich die Erde wirklich um ihre Axe drehen würde, ein Beobachter bei β (Fig. 1) die Fixsterngruppe $\gamma\gamma'$ rechts von dem Planeten α sehen, fünf Stunden später aber von β' aus links desselben (wir vernachlässigen absichtlich

die sehr geringfügige Differenz zwischen der scheinbaren Bewegung der Fixsterngruppe und des Planeten). Auf jene optische Verschiebung musste man gefasst sein, wenn man die Erde für ausserordentlich gross, den Fixsternenhimmel aber im Vergleich zu der Grösse der Erde für sehr nahe hielt. Die Welt des Aristoteles war so eng, dass man von ihr sagen durfte, wie von einer niedrigen Stube, es lasse sich ihre Decke mit der Hand erreichen.

Fig. 2.



Zu völlig entgegen gesetzten Anschauungen gelangte man, als Copernicus (1473—1543) mit seinem Weltsystem auftrat. Wenn die Erde sich wirklich um die Sonne bewegt, also ihre Stellung im Weltraum um Millionen von Meilen verändert, so durfte man noch viel mehr erwarten, dass die Fixsterne eine von der Ortsveränderung der Erde herrührende scheinbare Bewegung zeigten.

In Figur 2 sei *s* ein Fixstern, *abcd* die Erdbahn. Befindet sich die Erde in *a*, so sehen wir den Stern in *a'* an das Himmelsgewölbe projicirt; hat sie sich nach *b*, *c* oder *d* bewegt, so ist auch der Punkt, auf welchen er projicirt erscheint, nach *b'*, *c'* oder *d'* weiter gerückt. Somit muss jeder Fixstern alljährlich eine kleine elliptische Bahn am Himmelsgewölbe beschreiben, welche genau der Erdbahn gleich ist, wie sie von dem betreffenden Fixstern aus beobachtet werden könnte. Diese entfernt sich um so mehr von der Kreisform, je kleiner der Winkel ist, welchen eine von dem Fixstern zur Sonne gezogene Linie mit der Ebene der Erdbahn macht. Die kleine Axe jener Ellipse schwankt also bezüglich ihrer Länge; die grosse Axe hingegen ist bei gleicher Entfernung des Fixsternes immer dieselbe.

Die grosse Axe der besprochenen Ellipse bezeichnet man als die Parallaxe des Fixsternes. Man fand es aber einfacher, darunter diejenige Verschiebung zu verstehen, welche hervorgebracht würde, wenn ein Beobachter seinen Standpunkt auf Erden plötzlich mit einem solchen auf der Sonne vertauschen würde. Diese Verschiebung entspricht offenbar nur der halben grossen Axe jener Ellipse.

Die Länge der Parallaxe hängt natürlich von der Entfernung der Gestirne ab; sie wird immer kleiner, je weiter dieselben von dem Sonnensystem abstehen. Betrüge die jährliche Parallaxe eines Fixsternes

1°, so wäre seine Entfernung	=	57	Halbmessern der Erdbahn [1])
1′, „ „ „ „	=	3 438	„ „ „
1″, „ „ „ „	=	206 265	„ „ „

Doch wurde weder zur Zeit des Copernicus, noch in den beiden folgenden Jahrhunderten irgend welche Spur einer parallaktischen Bewegung der Sterne wahrgenommen, und man benützte diesen Umstand als einen Einwand gegen die Wahrheit des Copernicanischen Systems. Die Anhänger desselben konnten hierauf nur erwidern, dass jedenfalls die Bahn der Erde um die Sonne verschwindend klein sei gegen die Entfernungen der Fixsterne von unserem Sonnensystem und dass die Instrumente ungenügend seien zur Messung einer in Folge dessen äusserst geringfügigen Parallaxe. Somit wurde die Sternenwelt in ungeheure Fernen hinaus gerückt.

Zur Zeit Tycho de Brahe's (1546—1601) waren die astronomischen Instrumente und Beobachtungsmethoden soweit vervollkommnet, dass die Stellung eines Fixsternes bis auf eine Bogenminute genau angegeben werden konnte; ja zur Zeit Bradley's (1692—1762) vermochte man sogar den möglichen Fehler bis auf eine Bogensecunde zu verringern, und dennoch konnte damals kein Astronom die Parallaxe eines Fixsternes nachweisen. Erst als die Ortsbestimmungen der Sterne bis auf Zehntheile einer Secunde genau waren, gelang es Bessel (1838), eine Parallaxe an dem Doppelstern 61 Cygni [2]) ausser Zweifel zu stellen.

Die Messungen, die in den Jahren 1837 bis 1840, anfangs von Bessel selbst, dann von seinem Assistenten Schlüter in der Gesammtzahl von 402 ausgeführt wurden, ergaben für 61 Cygni eine Parallaxe von 0,37 Secunde und zwar mit solcher Genauigkeit, dass der wahrscheinliche Fehler nicht grösser als 0,02 Secunde sein kann. Wie gering diese scheinbare Bewegung ist und welch mächtiger Teleskope man bedurfte, sie zu erkennen, wird uns am besten klar werden, wenn wir hinzufügen, dass sie nur etwa so gross ist wie $^1/_{2500}$ des Halbmessers der Mondscheibe. Aus der Grösse der Parallaxe geht hervor, dass 61 Cygni 550 000 mal so weit von uns entfernt ist als die Erde von der Sonne; sein Abstand von der Erde beträgt also

[1]) Joh. Müller, Lehrbuch der kosmischen Physik. 4. Aufl. Braunschweig 1875. S. 297.

[2]) Da die Zahl der Sterne viel zu gross ist, als dass man jedem einen eigenen Namen beilegen könnte, ohne dass alle Uebersichtlichkeit verloren ginge, so haben die Astronomen die einzelnen Sterne jedes Sternbildes mit griechischen oder lateinischen Buchstaben bezeichnet und zwar so, dass man den hellsten Stern des Sternbildes α, den folgenden β etc. nannte. Später musste man jedoch auch zu den Zahlen seine Zuflucht nehmen.

11 Billionen geographische Meilen: eine dem menschlichen Geiste unfassbare Grösse! Wenn wir sie in eine Karte eintrügen, in welcher die Bahn unserer Erde die Randgrösse eines Zehnpfennigstückes hätte, so würde unter Beibehaltung derselben Masse 61 Cygni mehr als drei Wegstunden von ihr entfernt aufgezeichnet werden müssen. Da das Licht, um von der Sonne zur Erde zu gelangen, 8 Minuten 13 Secunden braucht, somit in einem irdischen Jahre einen Raum von fast $1\frac{1}{3}$ Billionen geographischen Meilen (= ein „Lichtjahr") durchläuft, so bedarf dasselbe nicht weniger als 8,7 Jahre, um den Weg von 61 Cygni zur Erde zurückzulegen.

Am grössten ist die Parallaxe nach den bisherigen Beobachtungen bei dem hellsten Stern im Centauren (α Centauri) auf der südlichen Halbkugel des Himmels (in Europa unsichtbar); doch erreicht sie auch bei diesem noch nicht die Grösse einer Secunde (0,91″ oder $\frac{1}{1000}$ der halben Mondscheibenbreite). Er ist also wahrscheinlich unter allen Fixsternen der Erde am nächsten; doch beträgt sein Abstand von derselben immerhin noch 4,4 Billionen geographische Meilen, d. i. 220 000 Sonnenweiten oder $3\frac{1}{2}$ Lichtjahre.

Man hat bereits für mehr als 30 Sterne die Parallaxen bestimmt; die fünf grössten finden sich in der nachfolgenden kleinen Tabelle verzeichnet [1]).

Fixsterne.	Parallaxe.	Entfernung von der Erde in Sonnenweiten.	Entfernung von der Erde in Lichtjahren.
α Centauri	0,91″	220 000	3,5
61 Cygni	0,37	550 000	8,7
Sirius .	0,23	890 000	14,1
α Lyrae	0,21	970 000	15,3
Arcturus	0,13	1 600 000	24,3

Die meisten der Sterne zeigen bis jetzt noch keine parallaktische Bewegung; die Grösse ihrer Entfernung lässt sich somit nicht messen. Ob nun die Körperwelt über den unendlichen Raum ausgestreut ist oder ob wir sie als räumlich begrenzt anzusehen haben, das werden uns die folgenden Untersuchungen lehren.

Die Fixsterne vereinigen sich theils zu Gruppen, theils bilden sie dichte Zusammenschaarungen. Die auffallendste unter den letzteren ist die Milchstrasse. Sie besteht aus einem zahllosen Heer von Sternen. Sir William Herschel schätzte die Menge der durch sein 40füssiges Spiegelteleskop sichtbaren Sterne in der Milchstrasse auf

[1]) Joh. Müller, l. c. S. 300. 366.

18 Millionen [1]). Um die Grösse dieser Zahl mit etwas Analogem zu vergleichen, erinnert A. v. Humboldt daran, dass am ganzen Himmel nur etwa 8000 Sterne erster bis sechster Grösse mit blossem Auge gesehen werden [2]). Viele Sterne der Milchstrasse senden uns ein so schwaches Licht zu, dass sie selbst in ihrer Gesammtheit nur einen milden Lichtschimmer verbreiten.

Lange Zeit war Sir William Herschel's Anschauung über die Milchstrasse allgemein anerkannt. Er ging von der Voraussetzung aus, dass die meisten Sterne gleich gross seien und, gleichweit von einander abstehend, den Raum einer plattgedrückten Linse einnehmen. Die äussersten Sterne sind nach Herschel etwa 80 mal soweit von uns entfernt als im Durchschnitt die Sterne erster Grösse. In der Mitte dieser Weltinsel befindet sich unser Sonnensystem. Wenn wir nun nach den Rändern der Linse sehen, so dringt unser Auge durch viel mächtigere Schichten, als wenn wir in der Richtung der Axe hinausblicken; daher beobachten wir im ersten Falle einen breiten, ringförmigen Lichtgürtel, die Milchstrasse, im zweiten hingegen nur einzelne Sterne. Die Aeste, welche die Milchstrasse aussendet, wurden nach dieser Hypothese durch die Annahme erklärt, dass die Linse selbst nicht unverletzt oder geschlossen sei, sondern dass an gewissen Stellen ihre Ränder aufklaffen.

Wenn ein mächtiges Fernrohr auf die Milchstrasse gerichtet wird, so löst sich meistens der Lichtschimmer in dichtgedrängte Sternenschwärme auf [3]). Der scheinbare Lichtnebel entsteht also in diesen Fällen durch das Zusammenrücken schwer zählbarer und unendlich kleiner Lichtpunkte. Ausserdem aber entdeckt man mit Hilfe des Fernrohrs sowohl innerhalb als auch ausserhalb der Milchstrasse am gestirnten Himmel eine Unzahl bald kleinere, bald grössere erhellte Stellen, die sogenannten Nebelflecke.

Die Zahl der örtlich in Rectascension und Declination bestimmten überstieg schon im Jahre 1850 3600. Nach Sir William Herschel's älterer Schätzung (1811) bedecken die Nebelflecke wenigstens $^1/_{270}$ des ganzen sichtbaren Firmaments [4]).

Die Nebelflecke sind theils scharf begrenzte, theils regellos zerfliessende. Die scharf begrenzten erscheinen bisweilen ringförmig, bis-

[1]) A. v. Humboldt, Kosmos. Bd. III, S. 156.

[2]) l. c. Bd. I, S. 156. Richard A. Proctor (Other Worlds than Ours. 4th ed. London 1878. p. 249) verringert die Zahl der mit unbewaffnetem Auge sichtbaren Sterne sogar auf 5850.

[3]) Zu dem Folgenden wurde mehrfach benützt: Peschel's Bericht über Richard A. Proctor, Other Worlds than Ours im Ausland 1870, S. 769—776.

[4]) A. v. Humboldt, Kosmos. Bd. III, S. 312.

weilen als Scheibe, bisweilen als Linse, bisweilen spiralförmig gekrümmt.

Als die Fernrohre mehr und mehr vervollkommnet wurden, zerlegten sie das Licht vieler Nebelflecke in Sternenhaufen. Dies gelang nach und nach auch bei solchen, die anfangs für unauflöslich gehalten worden waren, z. B. bei ν Andromedae. Der Amerikaner Bond zu Cambridge (Ver. St.) erkannte innerhalb der Grenzen dieses Nebels 1500 kleine Sterne; der Kern blieb freilich unaufgelöst [1]). Bevor eine derartige Zerlegung irgend eines Fleckes eintrat, bemerkte man schon vorher mit schwächeren Instrumenten, dass der Nebelfleck nicht mehr einen gleichförmigen Lichtdunst zeigte, sondern in hellere und dunklere Stellen sich zu trennen begann. Man sprach daher in dem ersten Falle von aufgelösten, in dem zweiten von auflösbaren Nebelflecken. Ausserdem aber sah man Nebelflecke, die kein Wahrzeichen der Auflösung erblicken liessen und auch hartnäckig derselben widerstanden, deren Licht bald scharf, bald undeutlich begrenzt war und in letzterem Falle langsam zerfloss, die nirgends einen regelmässigen Bau, sondern vielmehr die wunderlichsten Gestalten besassen. Diese nannte man unlösbare Nebelflecke. Je tiefer nun das teleskopische Sehen in den Raum hineindrang, desto mehr unlösbare Nebelflecke wurden lösbar, desto mehr lösbare wirklich aufgelöst. Als das mächtige Teleskop von Lord Rosse auf die Nebelflecke am Himmel gerichtet wurde, zerfiel wiederum eine beträchtliche Menge in Sternenschaaren, und im Jahre 1849 konnte Sir John Herschel in seinen „Outlines of Astronomy“ verkündigen, „dass in der Wirklichkeit kein Unterschied zwischen Nebeln und Sternenhaufen vorhanden sei“ [2]). Mit der Zahl neuer Auflösungen stieg aber auch die Zahl der vorher nicht gesehenen unauflösbaren Nebelflecke in noch viel höherem Grade, wie etwa aus jedem abgeschlagenen Haupt der Hydra zwei neue hervorzischten.

Die Milchstrasse mit unserem Sonnensystem, sagte man sich, bildet einen ungeheuren Sternenhaufen von etwa linsenförmigem Bau, der uns Erdenbewohnern, die wir etwa in der Mitte desselben schweben, als ein Lichtgürtel entgegentritt, weil wir in der Centralebene der Linse Stern hinter Stern in endloser Folge sehen. Würden wir dagegen das Milchstrassengebäude aus unendlicher Ferne betrachten dürfen, so müsste es uns als scheibenförmiger Nebelfleck oder bei verändertem Gesichtspunkt als ein Oval und bei noch stärkerer Veränderung als

[1]) A. v. Humboldt, Kosmos. Bd. III, S. 316.

[2]) „It may very reasonably be doubted whether there be really any essential physical distinction between nebulae and clusters of stars.“ (p. 598.) Auch in der neuesten Auflage der „Outlines“ (London 1875, p. 640) begegnen wir leider noch diesem Satz.

der Querschnitt einer convex-convexen Sternenlinse erscheinen. Folglich, schloss man weiter, sind die lösbaren und aufgelösten Nebelflecke Milchstrassensysteme von teleskopischer Nähe, die unauflösbaren aber solche von unfasslicher Ferne.

Da nun Nebelflecke gewisse Himmelsräume bevorzugen, — es findet sich beispielsweise eine sehr grosse Anhäufung an dem nördlichen Pole der Milchstrasse, auch eine ansehnliche Fülle bei den Fischen am südlichen Pole — so nahm man eine noch unendlich weiter entfernte Milchstrasse der Nebelflecke oder eine Milchstrasse von Milchstrassensystemen an, welche unsere eigene Milchstrasse ungefähr rechtwinklig schneiden sollte. Immer noch vermehrte sich die Zahl der Nebelflecke mit der Schärfe des Fernrohrs; immer noch dämmerten aus den Tiefen des Weltalls neue herauf, und so gelangte man zur Vorstellung einer unbegrenzten Erfüllung des Weltraums.

In dem letzten Jahrzehnt haben sich jedoch andere Ansichten Bahn gebrochen, Ansichten, welche die Unendlichkeit der Körperwelt in Abrede stellen und dieser wieder gewisse Ufer zuerkennen.

Gestehen wir selbst zu, dass die Grundlagen des Herschel'schen Milchstrassensystems — annähernd gleiche Grösse der Sterne und gleichmässige Vertheilung in einem linsenförmigen Raum — richtig sind, so lässt sich doch Verschiedenes mit dieser Erklärung schwer vereinbaren.

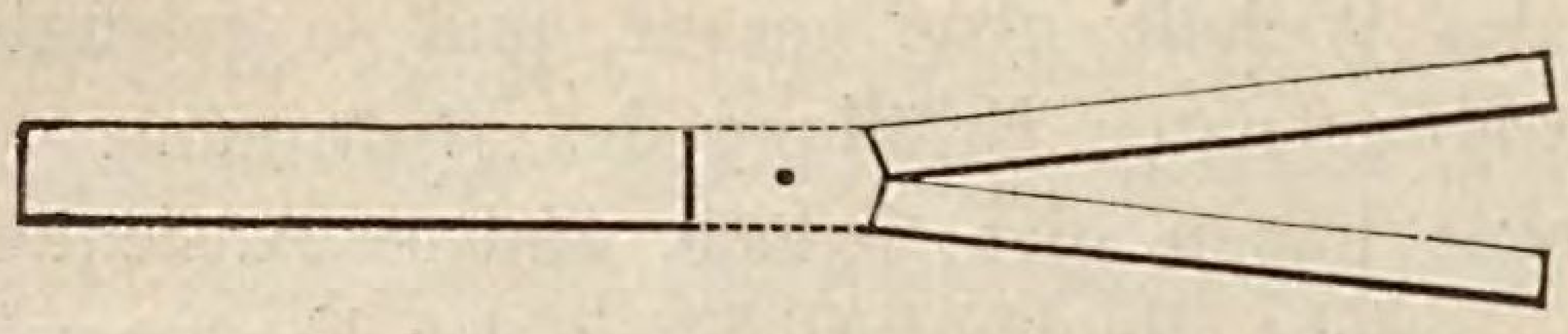
Zunächst giebt es in der Milchstrasse mehrere runde oder ovale Stellen, die scheinbar ganz sternenleer sind, also dunkle Flecken in dem hellen Lichtschimmer bilden, z. B. der von britischen Matrosen als „Kohlensack“ bezeichnete beim südlichen Kreuz oder der ovale Fleck im Sternbilde des Schwanes. Diese dunklen Oeffnungen, auf deren Grund, obgleich sie in gestirnreichen Strecken der Milchstrasse liegen, nach Sir William Herschel's eigenem Ausspruch auch nicht ein teleskopischer Stern zu sehen ist, wären als tunnelartige oder röhrenförmige Durchbrüche zu betrachten. Ein solcher, auf so ungeheure Strecken geradliniger Durchbruch trägt jedoch zu viel Seltsames, ja Räthselhaftes an sich, als dass wir ihn für möglich halten könnten. Statt dessen wird wohl ein jeder aus dem Vorkommen solcher Oeffnungen schliessen, dass in ihrer Nähe die seitliche Ausdehnung der Milchstrasse ihren Tiefendurchmesser nicht überschreiten werde [1]).

Ferner könnte man fragen: Wenn wir uns mitten in der Linse befinden, wie kommt es, dass die Schaaren von Sternen sich nicht

[1]) Richard A. Proctor, Other Worlds than Ours. 4th ed. London 1878. p. 247.

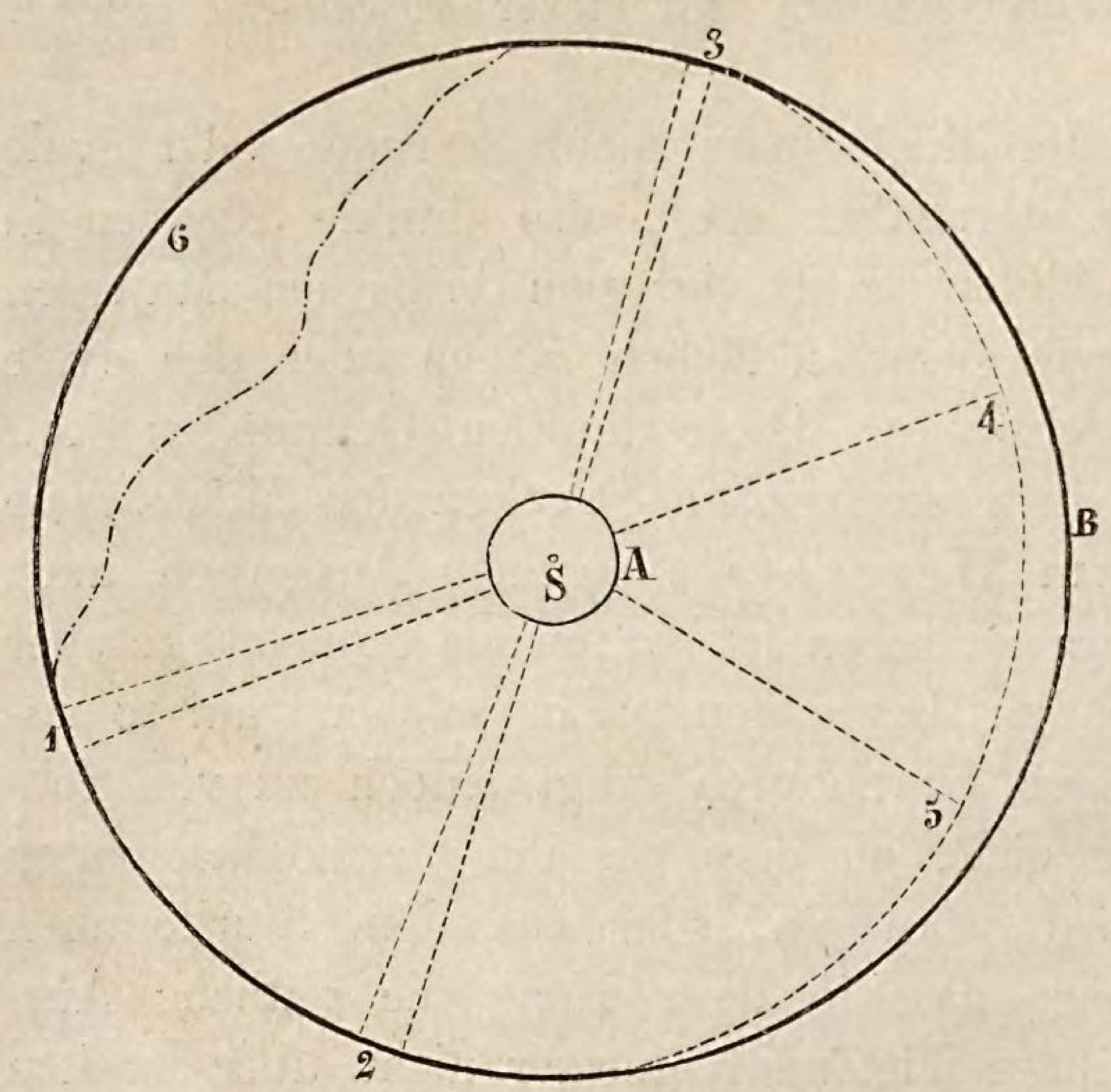
ganz allmählich gegen die Ränder derselben verdichten, dass die Milchstrasse im Gegentheil überall mehr oder weniger scharfe Grenzen zeigt? Schon Sir John Herschel (der Sohn) bemerkte, dass an vielen Stellen die Milchstrassenschwärme so plötzlich enden, dass die eine Hälfte des teleskopischen Gesichtsfeldes milchschimmernd, die andere dagegen bis auf einige verirrte Lichtpunkte ganz leer sein könnte. Ist nicht in allen solchen Fällen klar erwiesen, dass der Abstand des Sternenschwarms vom Beschauer unendlich viel grösser sein muss als die Abstände der einzelnen Sterne unter einander? — oder mit anderen Worten, dass die Sterne der Milchstrasse in der Ebene eines Erdenbeschauers durchaus nicht in gleichmässigen Abständen bis in unendliche Fernen ausgestreut liegen, sondern vielmehr, dass sie innerhalb mässiger Entfernungen eng zusammenrücken?

Fig. 3.



Die Milchstrasse als ein gespaltener flacher Ring gedacht (Querschnitt). Der Punkt in der Mitte bezeichnet die Stellung des Sonnensystems.

Fig. 4.



Der gespaltene galaktische Ring von „oben" gesehen. *SA* soll die mittlere Entfernung der Sterne erster Grösse andeuten. Sie beträgt hier nur 1/8 von *SB*, ist also (des beschränkten Raumes wegen) übertrieben gross dargestellt worden.

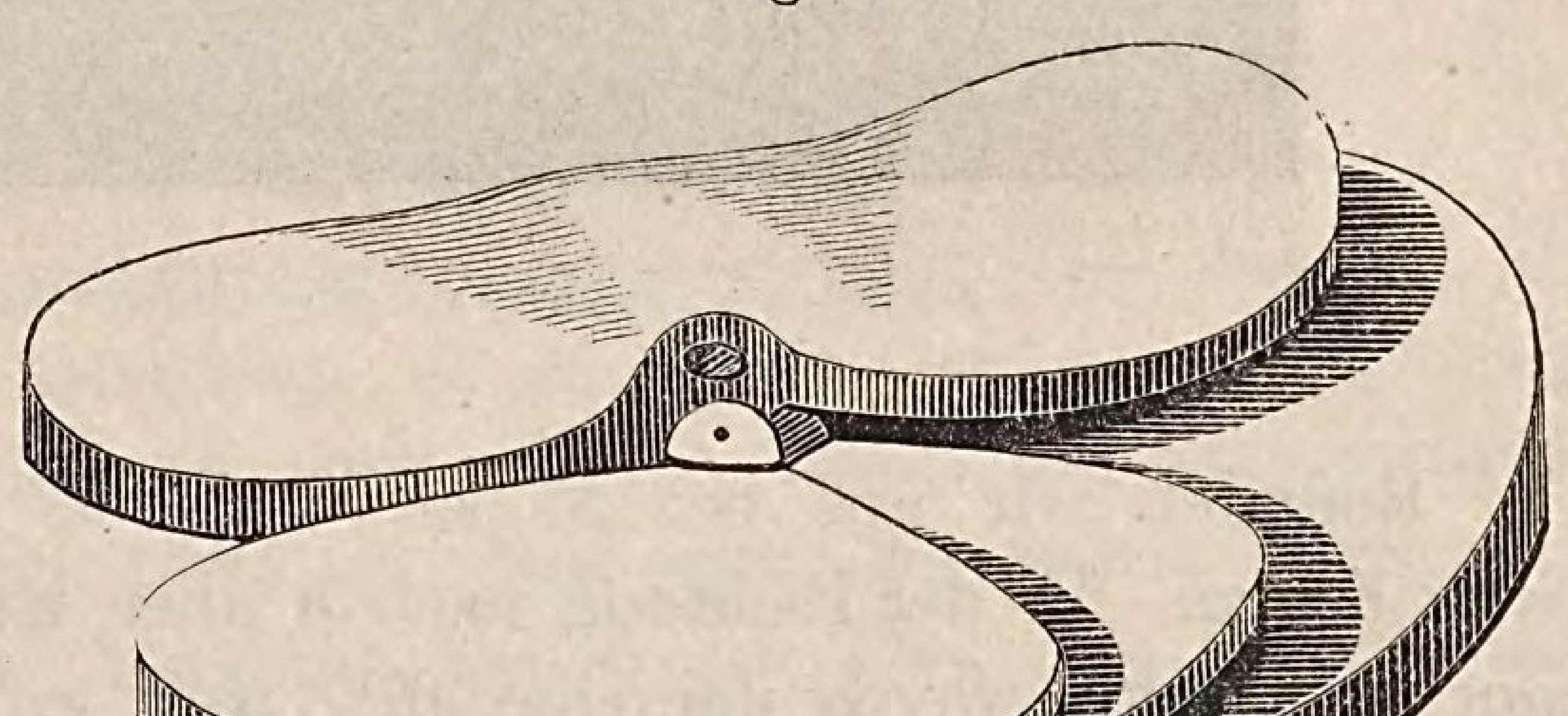
Sir William Herschel selbst hat in seinen letzten Arbeiten über die linsenförmige Anordnung der Sterne Zweifel geäussert und sich für die Annahme eines Ringes von Sternen entschieden, eine Anschauung, die von seinem Sohn Sir John Herschel weiter ausgebildet wurde. Dieser hielt die Milchstrasse für einen flachen Ring, von welchem die Sterne zehnter Grösse und solche geringeren Lichtwerthes getrennt seien, glaubte aber, dass die äussersten Schaaren der Milchstrasse nicht 80-, sondern 750 mal so weit von uns

ablägen als im Durchschnitt die Sterne erster Grösse. Da die Milchstrasse sich auf einer grossen Strecke in zwei Arme theilt, so dachte er sich den Querschnitt des ringförmigen Sternenschwarmes auseinander klaffend, wie in Fig. 3. Versetzen wir uns aber vom Mittelpunkt des Milchstrassensystems nach oben (wenn hier von oben oder unten überhaupt die Rede sein kann), so würde es uns einen Anblick gewähren, wie Fig. 4 zeigt.

Unser Sonnensystem nimmt in diesem Schema den Punkt *S* ein. Sehen wir von *S* in der Richtung nach *1*, so bemerken wir im Sternbild der Argo einen Riss oder eine Lücke, welche auf unserer Skizze durch punktirte Linien bezeichnet ist. Ferner entdecken wir in der Richtung nach *2* eine birnenförmige, am Rande scharf begrenzte Lücke beim südlichen Kreuz, so dass der Ring dort ein Oehr besitzen müsste, wie es die punktirten Linien andeuten. Eine ähnliche Durchbohrung wird sichtbar in der Richtung nach *3* oder im Sternbild des Schwanes. Zwischen *3B2* tritt die Verdoppelung des Ringes ein; doch ist eine grosse Strecke des einen Armes so lückenreich, dass man sich den oberen Theil des Doppelringes zwischen den Linien *S4* und *S5* abgetragen denken muss. Zwischen dem sogenannten doppelten Strom aber finden sich örtlich seltsame Lichtwindungen und Abzweigungen, die sich jeder Beschreibung entziehen, so dass auf der Strecke *3B2* die Sternenschwärme stark gerunzelt erscheinen und zugleich flache wie verbogene Sternschichten seitlich aussenden müssten, die von *S* aus tangential gesehen werden. Endlich ist die einfache Strecke bei *6* so dünn, dass wir uns den Ring dort eingebogen denken müssen, wie es die Strich- und Punktlinie etwa andeutet.

Wollte man noch länger an den Grundsätzen Sir William Herschel's festhalten und annehmen, dass alle Fixsterne von ziemlich gleicher Grösse seien, dass man also durch Aichung, d. i. durch Auszählung kleiner Sterne gleichen Lichtwerthes auf einem gewissen Himmelsraum, ihre Vertheilung im Weltraum ermitteln könne, so würden wir von dem Milchstrassengebäude ein so seltsames körperliches Bild erhalten, wie es Fig. 5 zeigt.

Fig. 5.

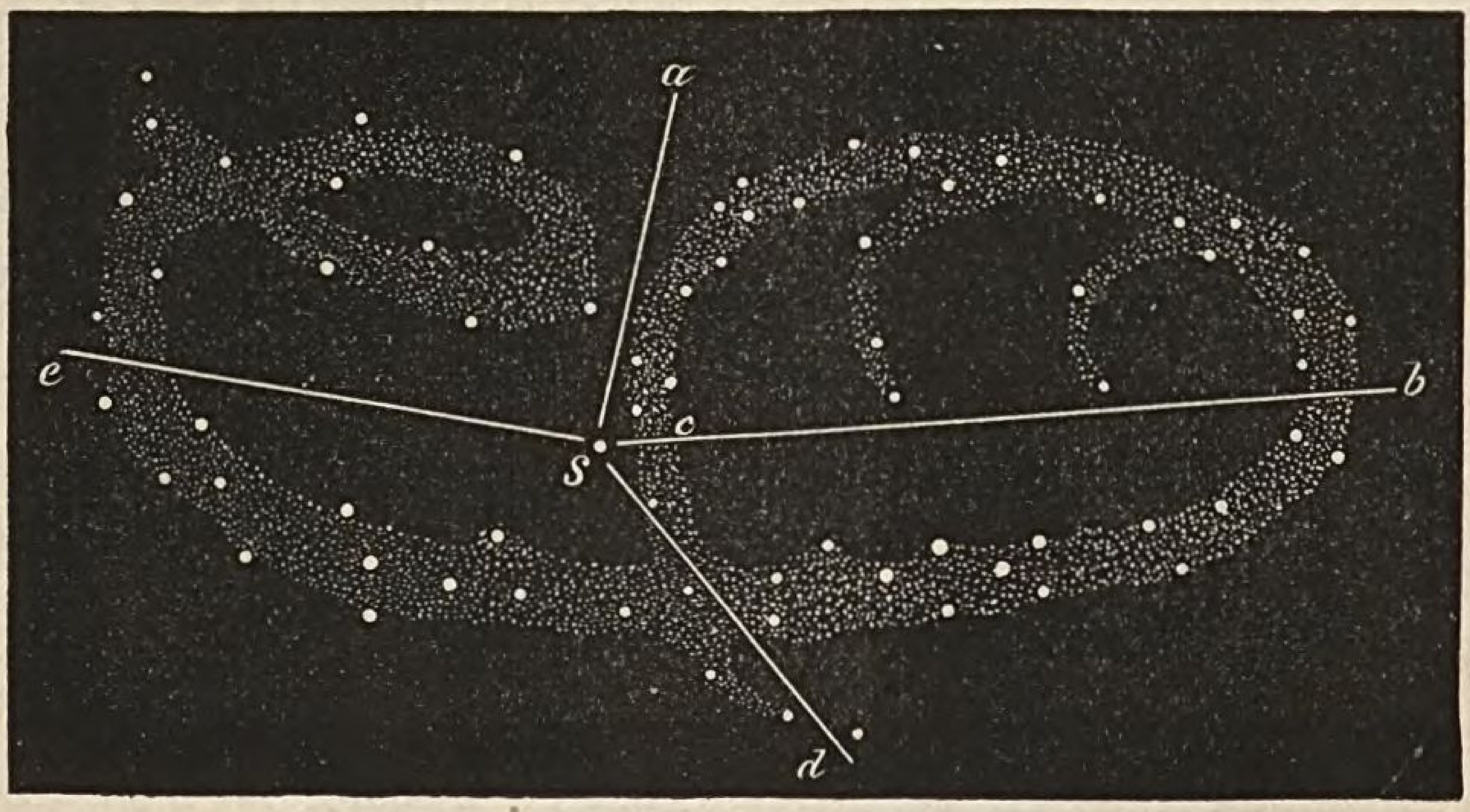


Die Sternenwelt der Milchstrasse nach W. Herschel's Grundsätzen. Das Sonnensystem befindet sich in der Mitte; die Löcher sind die Mündungen der tunnelförmigen Oeffnungen in der Milchstrasse.

Neuerdings hat Proctor[1]) den Versuch gemacht, die Milchstrasse in anderer Weise zu erklären.

Um den Milchstrassengürtel schaaren sich nämlich vorzugsweise die hellen Sterne; dagegen trifft man umgekehrt keine Sterne über fünfter Grösse und nur wenige von diesen in den Kohlensäcken, ebenso wenige in der Milchstrassenspalte des Schiffes Argo oder in der Insel, welche die Milchstrasse als doppelter Strom umschliesst. Wäre dies ein Zufall, so müsste er sicherlich als eine grosse Sonderbarkeit gelten. Bei dem Einzeichnen in seine neuen Sternkarten wurde Proctor überrascht, wie oft helle Sterne gleichsam die Grenzsteine für die Ufer der Milchstrasse bildeten; er erkannte daraus deutlich, dass ein enger Zusammenhang besteht zwischen den hellen Sternen und den kleinen, aus welchen der Milchstrassenschimmer zusammengesetzt ist und die bisher so unendlich entfernt von uns gehalten wurden. Proctor denkt sich deshalb die Anordnung ihrer Lichtkörper als eine spiralförmig gekrümmte Strömung, wie dies Fig. 6 andeutet.

Fig. 6.



Die Milchstrasse, gedacht als spiralförmige Sternenströmung.

Befinden wir uns bei S, so würde bei a die Lücke im Schiff Argo liegen. In der Richtung nach b aber würden zwei Zweige wahrzunehmen sein, wovon der eine (b), weil er unendlich fern ist, nur schwach leuchtete, während der andere (c), weil er um vieles näher ist, den hellsten Theil der Stromwindung uns darböte. Die matte Strecke der Milchstrasse in den Zwillingen und dem Einhorn würde bei e und der Auswuchs im Cepheus bei d gesehen werden. Die dunkle Stelle der Kohlensäcke könnte man sich so erklären, dass sich dort

[1]) l. c. p. 246 sq.

die Sternenströmung spiralförmig von uns hinweg in weite Fernen hinaus krümmte, so dass wir dann scheinbar durch eine Schleife blickten. Man sollte übrigens, ermahnt uns Proctor, die oben gegebene Figur nicht etwa als die einzig mögliche Form der Milchstrassenströme ansehen. Man könnte sich die Spirale noch anders, vielleicht noch besser zur Erklärung der thatsächlichen Erscheinungen gewunden denken. Ob die Spirale einfach oder doppelt sei, lasse sich bestreiten oder vertheidigen; das einzige nur, worauf man fest bestehen müsse, sei die Behauptung, dass die Milchstrassenkörper nahe zusammengeschaart einen Strom bilden und dass die hellen Sterne im Milchstrassenlicht zu diesem Strome gehören.

Sehr bedeutsam ist es ferner, dass gerade bei den kleinen Sternen, die zur Milchstrasse gehören, Lichtschwankungen häufig eintreten, die bei den grossen Sternen kaum oder gar nicht vorkommen. Alle neu auflodernden oder zeitweilig ihre Lichtstärke rasch und mächtig ändernden Gestirne liegen in der Nachbarschaft der Milchstrasse.

Bisher haben wir immer noch die Wahl, uns für das alte Sternengebäude Sir William Herschel's oder für die neue Anordnung Proctor's zu entscheiden, wenn wir auch schon zugeben müssen, dass die letztere viel besser erklärt, was bei dem ersteren immer auf Rechnung eines seltsamen Zufalls geschrieben werden müsste. Allein es lassen sich noch mehrere Beweise anführen, welche die Grundlage von Herschel's Weltgebäude vollständig erschüttern.

Sir William Herschel's Anschauung von der Milchstrasse steht und fällt mit der Voraussetzung, dass die Fixsterne von ziemlich gleicher Grösse seien, dass folglich ein schwacher Stern nicht ein kleiner, sondern ein sehr ferner, ein heller Stern nicht ein sehr grosser, sondern ein sehr naher Lichtkörper sei. Zu diesem kühnen Schluss aber würden ihn die Verhältnisse der von unseren Astronomen besser gekannten Welt nicht berechtigen. Giebt es innerhalb des Sonnensystems Sterne von allen Grössen, — wir erinnern an die Sonne selbst, an Jupiter, die Erde, den Mond, die Asteroiden — so dürfen wir von vorn herein eine ähnliche Verschiedenheit auch in der Fixsternenwelt erwarten. Es wäre also recht wohl denkbar, dass schwache Sterne kleine und helle grosse sind. Diese Annahme hat in der That ihre wissenschaftliche Begründung erhalten, seitdem die Parallaxen einer grösseren Anzahl von Fixsternen bestimmt worden sind.

Wir haben schon oben darauf hingewiesen, dass man seit Entdeckung und Messung der parallaktischen Bewegungen der Sterne auch deren Entfernungen von der Erde zu berechnen vermag. So wissen wir, dass α Centauri 4,4 Billionen geographische Meilen oder 220 000 Sonnenweiten von uns entfernt ist. Würde unsere Sonne

an dem Orte von α Centauri stehen, so würde sie uns nur $^1/_{48\,400\,000\,000}$ soviel Licht als gegenwärtig zusenden. Von α Centauri empfangen wir aber $^1/_{16\,950\,000\,000}$ soviel Licht als von unserer Sonne [1]). Hieraus ergiebt sich, dass α Centauri ungefähr dreimal soviel Licht ausstrahlt als unser Tagesgestirn und somit auch, wenn wir die Lichtstärke eines Sternes als Mass für seine Grösse betrachten dürfen, viel bedeutendere Dimensionen besitzen muss als dieses. Bringen wir selbst noch die Leistung des Doppelsternes in Abzug, so finden wir doch, dass der Durchmesser von α Centauri zu dem der Sonne sich ungefähr wie 8 zu 5 verhält.

Sirius, der an Helligkeit α Centauri um das Vierfache übertrifft, hat eine scheinbare jährliche Bewegung, die viermal kleiner ist als die von α Centauri. Er ist also viermal soweit von uns entfernt als α Centauri und würde demnach nur den 16. Theil seines Lichtglanzes entwickeln, wenn sich α Centauri an seiner Stelle befände. Nun aber leuchtet er uns viermal so hell als dieser Stern; somit übertrifft seine Lichtwirkung diejenige von α Centauri um das 64-, die unserer Sonne um das 192fache. Setzen wir bei den Fixsternen gleiche innere Helligkeit (Lichtintensität) voraus, so hat Sirius einen vierzehnmal so grossen Durchmesser als unsere Sonne, nämlich einen solchen von 2 700 000 geographischen Meilen, und einen Rauminhalt, welcher das Material von 2688 Sonnen aufzunehmen vermöchte.

Ferner kennen wir den Abstand des Doppelsternes sechsten Lichtwerthes, der in den Katalogen 61 Cygni genannt wird. Er ist uns um nicht ganz drei α-Centauri-Fernen entrückt. Jeder der beiden Sterne gewährt uns nur $^1/_{100}$ des Lichts, welches wir von α Centauri empfangen. Der letztgenannte Himmelskörper würde uns an der Stelle von 61 Cygni ein neunmal schwächeres Licht zusenden als jetzt, aber immer noch elfmal mehr Licht als einer der beiden genannten Doppelsterne. Daraus folgt, dass, wenn Helligkeit der Massstab der Grösse ist, jeder der beiden Sterne von 61 Cygni nicht ganz den dritten Theil vom Durchmesser und nur $^1/_{30}$ vom Körperraum des α Centauri besitzt. Jeder der beiden Sterne von 61 Cygni hat einen Durchmesser, welcher gleich ist $^{17}/_{30}$ des Sonnendurchmessers, und ein Volumen, welches ungefähr $^2/_{11}$ des Sonnenvolumens entspricht. In dem Raumumfang des Sirius aber könnten nicht weniger als 13 500 Sterne von der Grösse der Geschwistersterne 61 Cygni Raum finden! [2])

Somit ist klar erwiesen, dass sich die Fixsterne hinsichtlich ihrer Grösse sehr stark unterscheiden, dass also grosse Helligkeit nicht unbedingt auf grosse Annäherung an die Erde, ebenso wenig matter

[1]) Proctor, l. c. p. 221.

[2]) Proctor, l. c. p. 222 sq.

Lichtschimmer auf unermessliche Entfernungen zu schliessen gestattet. Proctor hat gezeigt, dass die Verhältnisse des Rauminhalts oder der Körpergrösse bei den wenigen Sternen, die uns derartige Bestimmungen erlauben, wahrscheinlich zwischen 1 und 13500 schwanken.

Der zweite glänzende Beweis, welchen Proctor für die Richtigkeit seiner Anschauungen beigebracht hat, gründet sich auf die Eigenbewegungen der Fixsterne.

Wir schicken voraus, dass Fixsterne durchaus nicht feststehende Sterne sind, sondern uns nur wegen ihrer grossen Entfernung unbewegt erscheinen. Halley wies zuerst eine solche Ortsveränderung am Sirius, Arcturus und Aldebaran nach[1]), und wirklich ist gegenwärtig Arcturus um $2^1/_2$ Vollmondbreiten von demjenigen Punkte des Himmels entfernt, an welchem er sich zu Hipparch's Zeiten befand. Um die Thatsache ihrer Bewegung über jeden Zweifel zu erheben, bedurfte es nicht bloss sorgfältiger und fleissiger Beobachtungen, sondern auch vorzüglicher Instrumente; deshalb hat erst die neuere Zeit Gründliches hierin geleistet. Eine vortreffliche Basis für derartige Untersuchungen lieferte der im Jahre 1755 entworfene Bradley'sche Sternkatalog. Er zeigt uns die Stellung der Sterne vor 125 Jahren; für diejenigen, welche fortgesetzt beobachtet wurden, kennt man die allmähliche Veränderung ihrer Lage bis heute. So hat man für mehr als 3000 Sterne durch directe Messung ein Fortschreiten im Weltraum nachgewiesen[2]).

Uebrigens war dies früher nur möglich, wenn die wandernden Sterne die Gesichtslinie eines irdischen Beobachters quer durchkreuzten, aber nicht wenn sie sich in gerader Linie auf uns los oder von uns hinweg bewegten. Mit Hilfe des Spectroskops ist auch dieses ausführbar geworden, sobald die Verschiebung von Fraunhofer'schen Linien im Spectrum von Fixsternen eine messbare Grösse erreicht. Huggins hat zuerst dieses Verfahren angewandt. So fand er unter anderem, dass fünf Sterne (β, γ, δ, ε, ζ) in dem Bilde des grossen Bären durchschnittlich 6,5 geographische Meilen in der Secunde vom Sonnensystem zurückweichen, während andere Sterne, wie Arcturus, der überdies zugleich auch eine seitliche Bewegung macht, sich ihr nähern.

Die stärkste Eigenbewegung beobachtete man bisher an folgenden Sternen:

[1]) Man verwechsle ja nicht die wahren Bewegungen der Fixsterne, von denen jetzt die Rede ist, mit ihren scheinbaren (parallaktischen) Bewegungen, welche oben besprochen worden sind. Die letzteren vollziehen sich stets in einem Erdenjahr auf einer Ellipse und sind nur optische Verschiebungen, bewirkt durch den Umlauf unseres Planeten um die Sonne. Sie würden unsichtbar sein, wenn die Erde auf einem Punkte im Weltraum feststünde, während die wahren Bewegungen der Fixsterne in diesem Falle nicht gestört werden könnten.

[2]) Zech, Himmel und Erde. München 1870. S. 35.

	Grösse des Sternes.	Jährliche Bewegung. Bogensecunden.
2151 Puppis des Schiffes	6	7,87 [1]
ε Indi		7,74
1830 des Katalogs der Circumpolarsterne von Groombridge, auf der Grenze der Jagdhunde und des grossen Bären	7	6,97
61 Cygni, Doppelstern	5.6	5,12
δ Eridani	5.4	4,08
μ Cassiopeiae	6	3,74
α Centauri, Doppelstern	1	3,58
α Bootis (Arcturus)	1	2,25

Mit der Eigenbewegung der Fixsterne hat sich Proctor neuerdings viel beschäftigt. Er hat auf verschiedenen Wegen Rechnungen angestellt über 1167 als beweglich erkannte Fixsterne, und stets kam er zu dem Ergebniss, dass die Entfernung der lichtschwachen Fixsterne bisher gewaltig überschätzt worden sei. Schlagend ist insbesondere folgende Beweisführung. Sondert man jene 1167 Fixsterne in zwei Classen, nämlich in solche erster, zweiter, dritter und in solche vierter, fünfter, sechster Lichtstärke, so findet man, dass die durchschnittliche Bewegung der lichtschwachen Sterne fast genau übereinstimmt mit derjenigen der hellen. Wären nun in der Regel helle Sterne uns nahe und lichtschwache Sterne uns fern, so müssten die scheinbaren (angulären) Bewegungen der hellen Sterne, weil sie in unserer Nähe vorgehen, im allgemeinen grösser, die der lichtschwachen Sterne, weil sie sich in der Ferne vollziehen, kleiner sein. Die Rechnung zeigt aber im Gegentheil, dass sich die Classe der hellen Sterne nicht rascher bewegt als die der lichtschwachen, und daraus folgt, dass die Lichtstärke derselben mehr von ihrer Grösse abhängt als von ihrer Entfernung — ein ganz unerwartetes und unvorhergesehenes Ergebniss [2]).

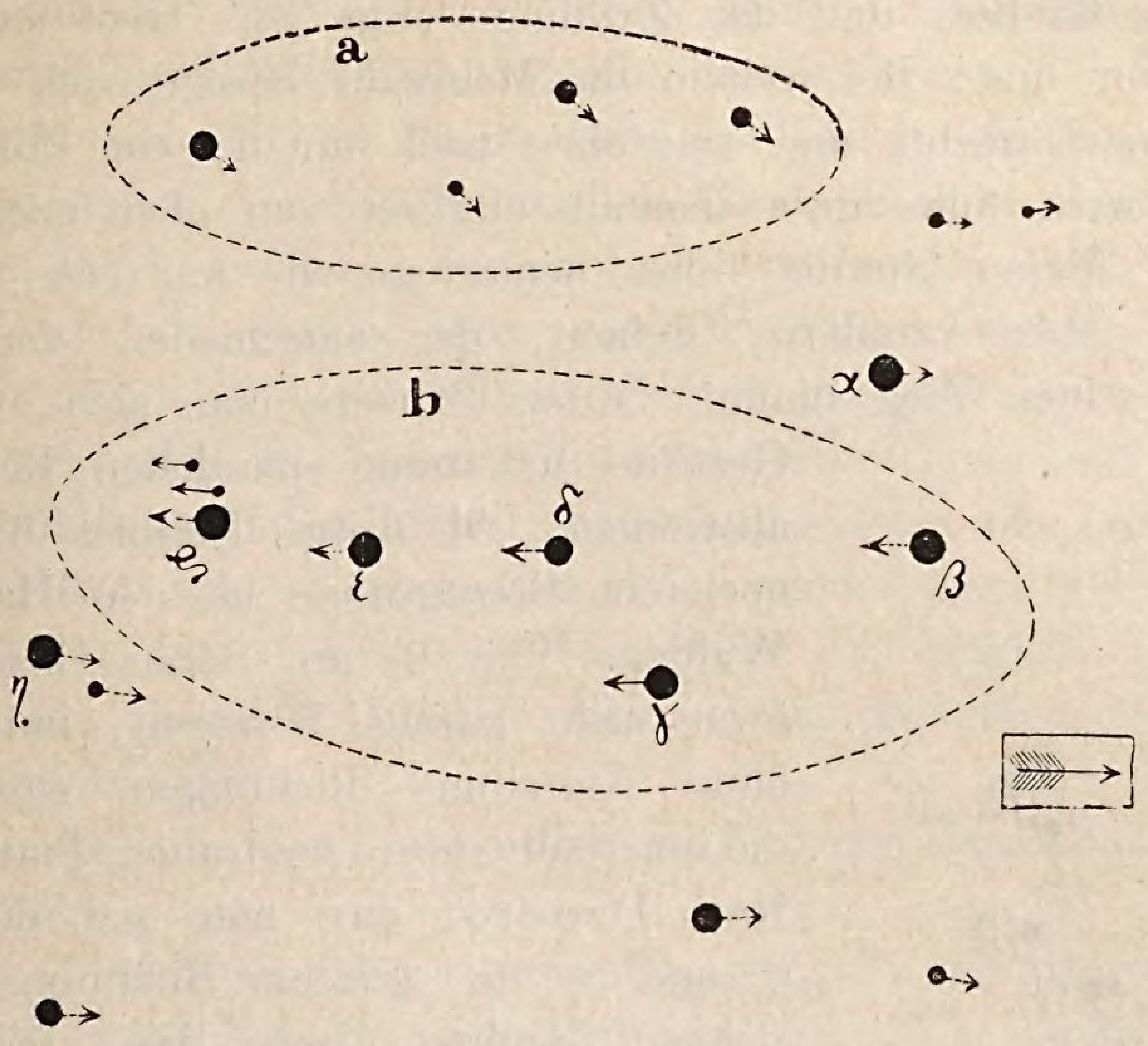
Einen anderen Beweis für die Richtigkeit seiner Anschauungen gewann Proctor, als er bei Entwurf seiner neuen Karten die Eigenbewegungen der Fixsterne der Richtung nach verglich. Schon Mädler hatte entdeckt, dass im Bilde des Stieres die Sterne nach gemeinsamen Richtungen ziehen. Proctor erkannte jedoch, dass dieses Verhalten nicht auf den angegebenen Himmelsraum beschränkt sei, sondern dass sich allenthalben gleichförmige Sternenströmungen vorfinden.

So gewahren wir auf der nebenstehenden Zeichnung von Proctor (Fig. 7) mit Ueberraschung, dass die Sterne im grossen Bären und

[1]) Dieser Stern würde in etwa 4000 Jahren am Himmel eine Strecke durchlaufen wie die Sonne vom Aufgang bis zum Mittag.

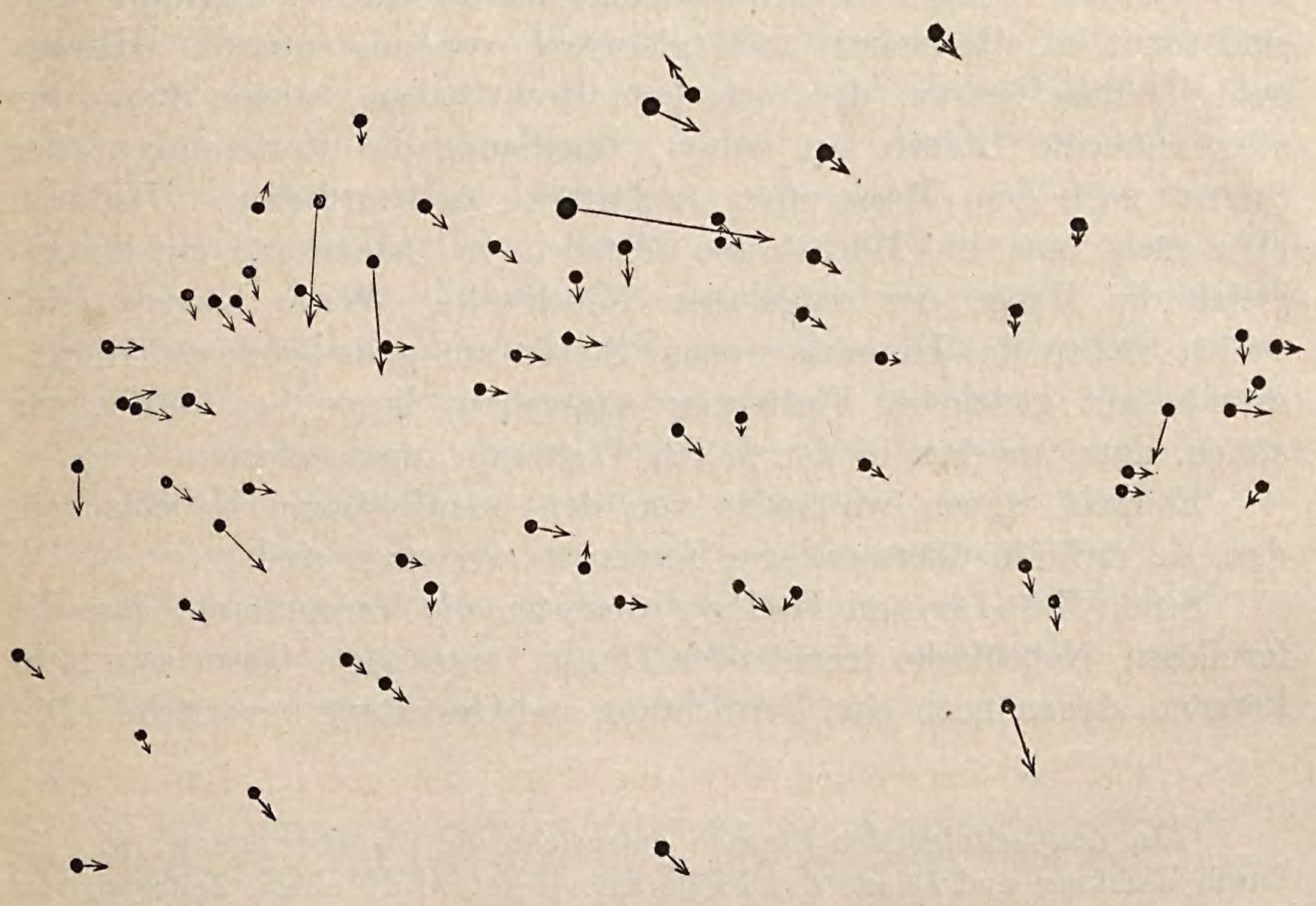
[2]) Proctor, l. c. p. 265 sq.

Fig. 7.



Eigene Bewegungen der Sterne im grossen Bären und in der Nachbarschaft desselben (nach Proctor). Der gefiederte Pfeil zeigt die Richtung an, welche das Sonnensystem einschlägt.

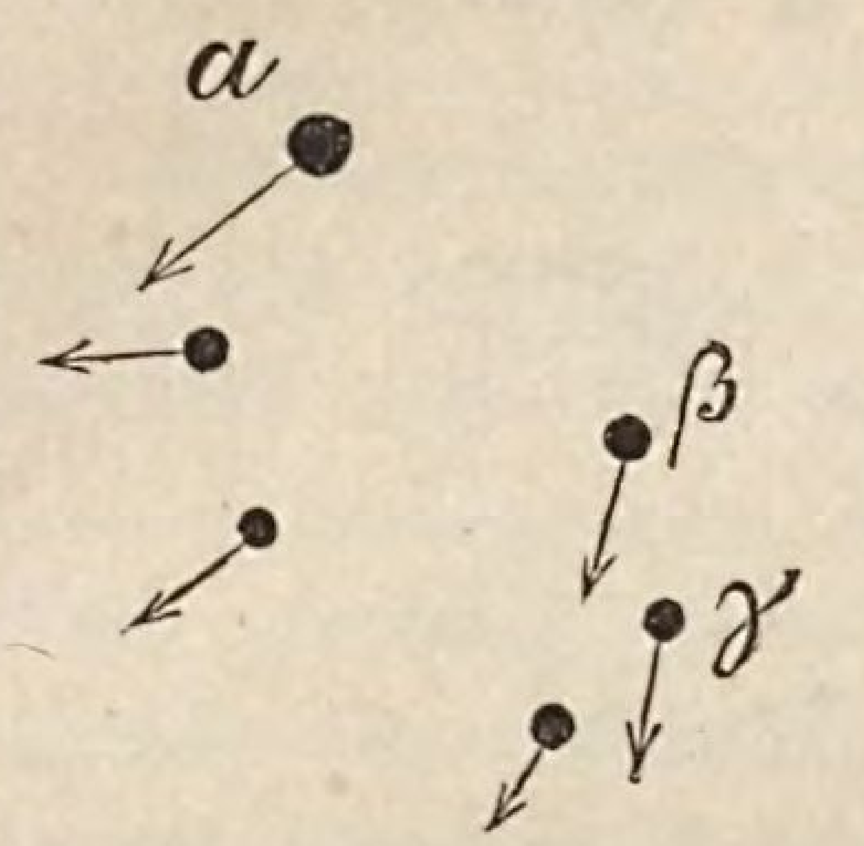
Fig. 8.



Die Sternenströmung in den Bildern des Krebses und der Zwillinge (nach Proctor).

in seiner Nachbarschaft gruppenweise gewisse Richtungen verfolgen[1]). Ebenso merkwürdig ist der Anblick einer Sternenströmung in den Bildern des Krebses und der Zwillinge (Fig. 8). Hier haben wir 66 Sterne vor uns. Bei weitem die Mehrzahl bewegt sich diagonal von links nach rechts und von oben nach unten, eine Minderzahl von rechts nach links und ebenfalls zugleich von oben nach unten. Unter allen diesen Sternen aber bemerken wir nur vier, die von unten nach oben wandern, keinen, der entschieden von rechts nach links seinen Weg nimmt. Auch übersehe man nicht, wie viele Gestirne in streng parallelen Richtungen abströmen. Als drittes Beispiel führen wir noch eine Sterngruppe aus dem Haupte des Widders (Fig. 9) an, deren Glieder sich zwar nicht parallel bewegen, immer aber ohne Ausnahme Richtungen einschlagen, die innerhalb eines Quadranten Platz finden. Nach Proctor darf man sich die Sterne β und γ in gleicher Richtung mit α ziehend denken, nur dass jeder von ihnen durch eine geringe individuelle Bewegung den Parallelismus ein wenig stört.

Fig. 9.



Eigene Bewegung der Fixsterne im Haupte des Widders (nach Proctor).

Nun gehören in diesen und anderen Fällen Sterne von den verschiedenartigsten Lichtwerthen zu einer Sternenströmung, also zu einer Sterngruppe und sind somit im allgemeinen auch gleichweit von uns entfernt. Hieraus geht deutlich hervor, dass wir kein Recht haben, kleine Sterne für sehr entfernte Objecte zu halten, überhaupt die Entfernungen der Sterne nach dem Masse ihrer Lichtstärke zu beurtheilen. Dadurch aber rückt uns die Milchstrasse plötzlich viel näher und mit ihr zugleich die Menge der aufgelösten Nebelflecke. Wenn daher an einzelnen Stellen des Himmels wenige Sterne auf ganz lichtlosem Hintergrund, auf gänzlicher Finsterniss ausgestreut liegen, so dürfen wir ahnen, dass wir dort in den leeren Weltraum hinausschauen.

Endlich wissen wir sogar von den unauflösbaren Nebelflecken, dass sie nicht in unermessliche Fernen zu versetzen sind.

Schon Kepler und Halley äusserten die Vermuthung, dass die formlosen Nebelflecke leuchtender Dunst, entzündete Gasmassen sein könnten, denen noch eine Verdichtung und Gestaltung bevorstehe. Die

[1]) In den beifolgenden Figuren entspricht die Eigenbewegung, wie sie durch Richtung und Länge der Pfeile angedeutet wird, einem Zeitraum von 36000 Jahren.

Gegner dieser Ansicht aber meinten, dass sich die ungelösten Lichtschimmer mit Hilfe vervollkommneter Instrumente in Sternenhaufen zerlegen lassen würden. Der Streit wäre unentschieden geblieben, wenn nicht das Spectroskop erfunden worden wäre.

Dringt nämlich ein Strahl farblosen Lichtes durch einen dünnen Spalt und hinter dem Spalt durch ein Glasprisma, so wird er dadurch zu einem farbigen Bande ausgebreitet, welches bei Roth beginnt, um nach Orangegelb, Grün, Blau und Violett überzugehen, genau nach der Skala der Regenbogenfarben. Stetige, weder von schwarzen, noch von heller leuchtenden farbigen Linien unterbrochene Farbenbilder verkünden uns fast immer, dass der Körper, welcher das Licht aussendet, sich in festem oder flüssigem Zustande befindet, dass er also glüht oder schmelzflüssig ist. Leuchtende Körper im gasförmigen Zustand geben kein stetiges Spectrum, sondern vielmehr farbige glänzende Linien auf schwarzem Grunde.

Nun galt es, jene Lichtquellen am Himmel durch das Spectroskop zu befragen.

Am 29. August 1864 richtete Huggins[1]) sein analytisches Fernrohr nach einem Nebelfleck im Drachen (Nr. 4373, nach Herschel's Katalog 37 H. IV.), und mit grosser Ueberraschung fand er statt eines continuirlichen Farbenbandes drei helle abgesonderte Linien. Damit war die Frage nach der wahren Natur dieses Nebelfleckes mit einem Schlage definitiv entschieden. Das Licht desselben geht nicht von einem festen oder flüssigen glühenden Stoff, sondern von einer glühenden Gasmasse aus. Mikrometrische Messungen ergaben, dass die eine Linie der hellsten Linie des irdischen Stickstoffspectrums sehr nahe liegt, dass die schwächste dagegen mit der grünen Wasserstofflinie zusammenfällt, die mittlere Linie aber mit keinem Spectrum irdischer Stoffe sich vergleichen lässt, sondern nur der Bariumlinie am meisten sich nähert. Ausser diesen hellen Linien sah man noch ein äusserst schwaches stetiges Farbenbild, welches auf die Existenz eines kleinen, leuchtenden, aber nicht gasförmigen Kernes hindeutet. Andere unauflösbare Nebelflecke zeigten nahezu dieselben Spectra, bestehend aus zwei, drei oder vier farbigen Linien. Stickstoff und Wasserstoff sind jedenfalls die Elemente, aus denen sie vorzugsweise zusammengesetzt sind.

Nun wurden auch aufgelöste (fälschlich so genannte) Nebelflecke, also Sternenhaufen mit Hilfe des Spectroskops untersucht, und sofort lieferte es ein Farbenbild ohne Unterbrechung.

[1]) Vgl. seine Abhandlung „On the Spectra of some of the Nebulae“ in den Philosophical Transactions of the R. Soc. of London. Vol. CLIV (1864), p. 437—444.

Von 46 zugleich teleskopisch geprüften Nebelflecken zeigten nach Huggins im Spectroskop[1]):

	stetige Farbenbilder.	getrennte Farbenbilder.
Sternenhaufen	10	—
Aufgelöste oder vielleicht aufgelöste Nebel	5	—
Auflösbare oder vielleicht auflösbare Nebel	10	6
Blaue oder grüne nicht auflösbare Nebel .	—	4
Nebel ohne Zeichen von Auflösbarkeit . .	6	5

Aus dieser Uebersicht geht hervor, dass das Prisma als Sternenhaufen oder auflösbare Nebelflecke genau dieselben Lichtschimmer bezeichnet wie das Teleskop und als echte Nebelflecke nur solche, welche nicht auflösbar gewesen waren oder im Verdacht der Unauflöslichkeit standen. Demnach giebt es echte Lichtnebel; ihre Unauflöslichkeit deutet somit nicht nothwendig eine schwer erreichbare Ferne an. Im Gegentheil dürfen wir es schon aussprechen, dass manche der ungelösten Nebelflecke uns verhältnissmässig sehr nahe liegen.

Interessant sind in dieser Beziehung die Ortsveränderungen von Doppelnebeln. Ihre Bewegung gleicht derjenigen der Doppelsterne, d. h. sie kreisen wie diese um einen gemeinsamen Schwerpunkt. Ein Beispiel bietet ein merkwürdiger Doppelnebel in den Zwillingen (7 Stunden 16,7 Min. Rectasc. und 29° 45′ nördl. Decl.). Sir William Herschel beobachtete ihn im Jahre 1785 und fand den Abstand beider Componenten zu 60″. Im Jahre 1827 betrug er bloss 45″, 1862 sogar nur 28″, und zwischen 1827 und 1862 hatte sich die Stellung der beiden Nebel gegen einander um $11^{1}/_{2}{}^{0}$ eines Kreises verändert. Es findet sonach wahrscheinlich eine Umlaufsbewegung statt, die nach den angegebenen Grössen etwa in 1100 Jahren einmal vollendet wird; möglicher Weise erfolgt sie noch rascher. „Wie dem aber auch immer sein möge, solche Umlaufsbewegungen von Doppelnebeln von einer analogen Dauer wie diejenige vieler oder der meisten Doppelsterne beweisen, dass jene Nebel durchaus unserem Fixsternensystem angehören, dass sie wahre Nebelmassen sind, die nicht jenseits unserer Sternenschicht im öden Oceane des Raumes lagern, sondern vielmehr in unserem Sternenhaufen stehen in verhältnissmässig geringer Entfernung von uns“ [2]).

[1]) Philosophical Transactions of the R. Soc. of London. Vol. CLVI (1866), p. 383.

[2]) Hermann J. Klein im Ausland 1872, S. 201.

Was bisher immer nur als Hypothese gegolten hatte, dass nämlich die unauflösbaren Nebelflecke gasartige Massen seien, die dem noch ungeballten Urstoff angehören, aus welchem die Fixsternkörper durch Verdichtung sich abgesondert hätten, das darf jetzt mit ziemlicher Sicherheit ausgesprochen werden, und wie der Vorgang stattfindet, werden wir weiter unten bildlich zeigen.

Die Milchstrasse selbst wäre demnach nichts anderes als eine Nebelmasse der siderischen Vorzeit, die sich fast überall schon zu kleinen Sternen verdichtet hätte, worauf sich diese letzteren zu grossen Strömungen zusammenschaarten. Dies wird sehr glaubhaft durch die Wahrnehmung Proctor's[1]), dass die unauflöslichen Nebelflecke die Nähe der Milchstrassenufer scheuen, dass sie sich vielmehr auf dem nördlichen Himmel in der Nähe des Milchstrassenpols zusammen drängen. Auf dem südlichen Himmel findet zwar das gleiche Verhalten nicht statt; wohl aber liegen dort die Nebelflecke, entweder in Streifen geordnet oder zu Schwärmen vereinigt, ausserhalb der Milchstrasse. Jedenfalls ist dieselbe auf beiden Halbkugeln fast gänzlich rein von Nebelflecken. Dies letztere gilt jedoch nur von den unauflöslichen, zu denen aber vier Fünftel sämmtlicher Nebelflecke zählen; umgekehrt scheinen die aufgelösten Nebelflecke, also die Sternenschwärme, die Nähe der Milchstrasse entschieden zu bevorzugen. Auch sogenannte unaufgelöste, aber für auflösbar oder halb auflösbar gehaltene Nebelflecke kommen in der Milchstrasse vor, aber bei weitem nicht so häufig wie die aufgelösten.

Die Bedeutung dieser Thatsachen ist leicht zu erfassen. Aller Nebelschimmer am Himmel steht in Beziehung zur Milchstrasse. Diese selbst ist ein zu unzählbaren Weltkörpern verdichteter, vormalig gasartiger Lichtdunst, und die Nebelflecke bieten uns alle möglichen Zwischenstufen von leuchtenden Gasmassen ohne jede Verdichtung, von Gasmassen, bei denen die Verdichtung schon im Werke ist (unaufgelöste, aber halb auflösbare Nebelflecke), und von völlig verdichteten ehemaligen Gasmassen (aufgelöste Nebelflecke oder Sternenschwärme). Nun gewähren uns die Nebelflecke den Reiz historischer Gemälde: wir erblicken jetzt in den Sternen verdichtete Nebel und in den Nebeln die ersten Anfänge neuer Sternenbildung.

Denken wir uns den ehemaligen Lichtdunst ungeordnet im Weltraum verbreitet, so musste, wenn örtlich eine Verdichtung, ein Zusammenballen der Massen eintrat, um diese Dunstbälle ein körperleerer Raum zurückbleiben. So oft Sir William Herschel bei seiner nächtlichen Durchforschung des Sternenhimmels längere Zeit durch sein Gesichtsfeld einen sternenöden Himmelsraum hindurchgehen sah,

[1]) Proctor, l. c. p. 283 sq.

rief er seiner Schwester Miss Caroline Herschel zu: „Mach' dich gefasst auf baldiges Eintreffen von Nebelflecken!" Die gleiche Erfahrung wurde auch von Sir John Herschel bestätigt. Wie können wir also Nebelflecke für transgalaktische Milchstrassensysteme halten,

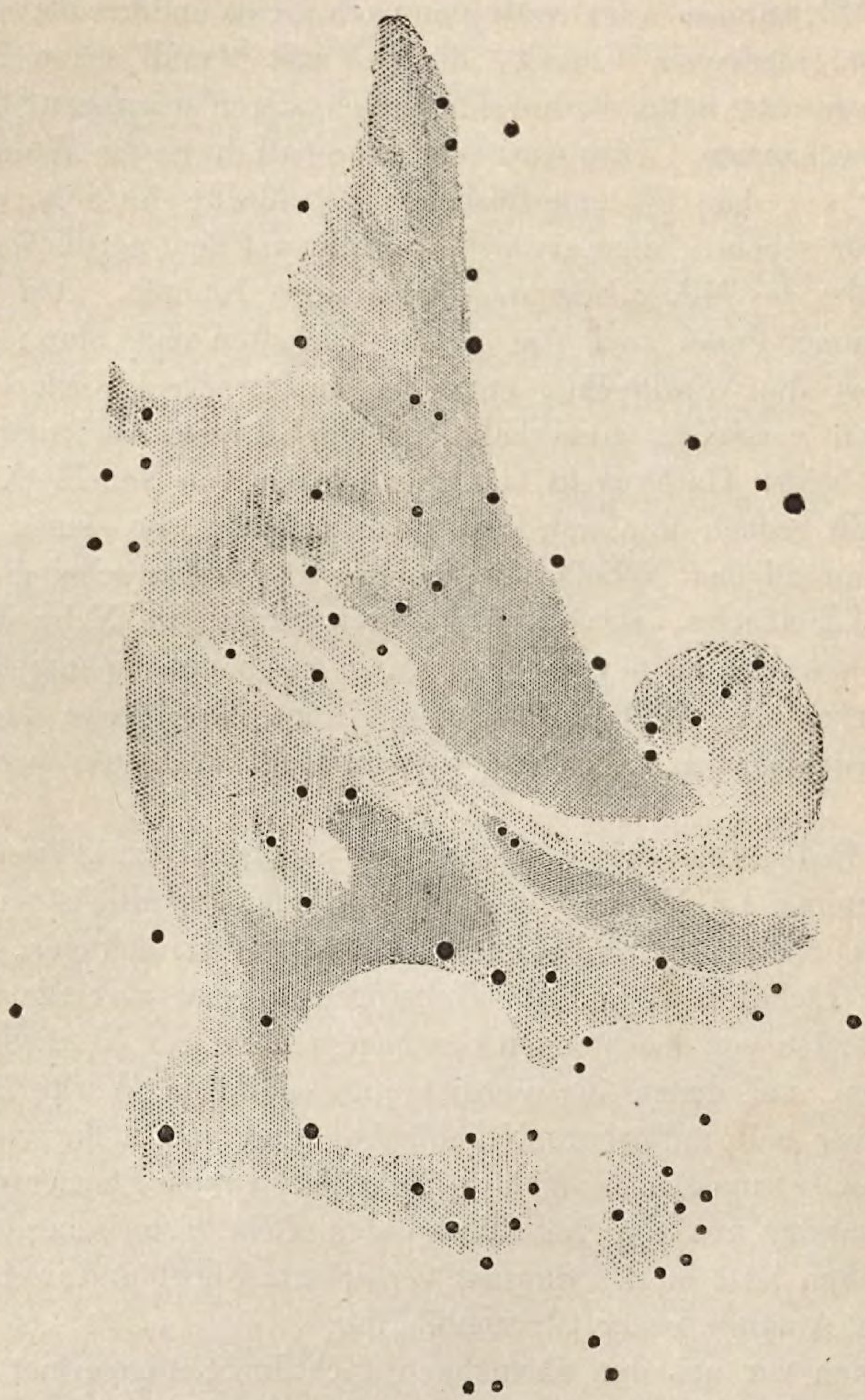


Fig. 10.

Der Nebelfleck Messier 17, gesehen durch Lassell's vierfüssiges Spiegelteleskop.

wenn nur ein eigensinniger Zufall sie just auf die sternenöden Räume des Himmels vertheilt hätte? Die Nebelflecke vertreten vielmehr die vermissten Sterne, und die entblössten Stellen in der Nähe sind Räume, welche durch die Nebelflecke verheert worden sind.

Als sich beispielsweise die Magalhães'schen Wolken (am südlichen Himmel) verdichteten, hinterliessen sie jenseits ihrer Ränder einen sternenöden Raum. Nicht nur scheuen alle Sterne hohen Lichtwerthes die Nähe der Magalhães'schen Wolken, sondern jenseits ihrer Ufer beginnen lichtlose Himmelsräume. Eines der Gesichtsfelder in der Nähe der Wolken wird von Sir John Herschel „eine kläglich arme und sterile Himmelsstrecke“ genannt, und ein anderes Mal sagt er: „Wenn man sich (teleskopisch) den beiden Wolken nähert, muss man zuvor einen wüsten Raum durchkreuzen“.

Nun sind wir hinlänglich vorbereitet, um die Entwicklung der Fixsterne aus dem gasigen Lichtdunst an einem bestimmten Beispiel zu erläutern. Der beigegebene Holzschnitt (Fig. 10) zeigt uns einen Nebelfleck (in den Katalogen als Messier 17 bezeichnet) mit den zugehörigen Sternen. Die dunklen Punkte stellen die Sterne, die schraffirten Stellen die helleren und matteren Lichtdünste dar. Man sieht auf den ersten Blick, dass die meisten Sterne den Rand des Nebelfleckes begrenzen. Dort ist durch die Verdichtung zu Sternen der Dunst bereits zusammen geballt, bei einigen aussen liegenden Sterngruppen schon völlig verschwunden. Links, wo ein runder Hohlraum in den Nebeldunst eindringt, bemerkt man deutlich, dass die Verdichtung vom Rand aus nach dem Innern fortgeschritten sein muss. In der Mitte des Bildes gewahrt man drei Furchen, jede mit zugehörigen Sternen versehen, deren Kielwasser — möchten wir sagen — in den Lücken sichtbar ist. Die Erscheinung wiederholt sich rechts davon in den zwei minder dunklen Streifen auf dunklem Grunde. Die Kant-Laplace'sche Hypothese von der Entstehung der Fixsterne aus Gasmassen findet hier ihren sinnlich wahrnehmbaren Beweis.

Nun sagt sich vielleicht der eine oder der andere, dass jene Wahrnehmung auf den einen Nebelfleck wohl passen kann, aber nicht auf tausend andere. Wir haben daher, als das Bild von Proctor uns in die Hände fiel, alle Abbildungen von unauflöslichen Nebeln, die von anderen Astronomen schon früher und in gänzlicher Unbekanntschaft mit den neuen Anschauungen entworfen wurden, soviel uns deren zu Handen waren, verglichen, und überall hat sich ein sichtbarer Zusammenhang zwischen den Sternen und ihrem dunstig schimmernden Hintergrund erkennen lassen [1]).

Die merkwürdigste Folgerung aus Proctor's Darstellungen ist die, dass wir jetzt die Körperwelt als ein Ganzes überschauen. Wir gewinnen die Ueberzeugung, dass das System der Milchstrasse nicht eine abgesonderte Insel bildet und die Nebelflecke ebenso viele Milch-

[1]) Peschel im Ausland 1870, S. 776.

strassen sind, sondern dass die Nebelflecke nur einen Gegensatz zur Milchstrasse darstellen oder ihren Contrast bilden, insofern sie von der Milchstrasse zurückweichen, was uns den Eindruck gewährt, als hätte die Milchstrasse bei ihrer Verdichtung alle Sternenhaufen in ihrer Nähe an sich gerafft und jenseits ihrer Ufer eine Oede von Nebelflecken hinterlassen, gerade so wie sich um die Ränder der Lücken im Gewebe der Milchstrasse die Sterne und Sternenhaufen dichter zusammen schaaren.

Wir haben somit kein Recht, die Nebelflecke als Milchstrassensysteme anzusehen. Die Körperwelt reicht vielleicht nicht weiter hinaus als bis zu den äussersten Sternen der Milchstrasse, so dass wir sagen dürften: Alles, was Lichtreize auf unsere Sehnerven ausübt, sei es, dass dies mit oder ohne optische Vorrichtungen geschieht, das ist die Körperwelt, und die dunklen Lücken am gestirnten Himmel sind Oeffnungen in den körperlosen Weltraum.

Nun könnte man noch die Frage aufwerfen: Besteht vielleicht hinter der sichtbaren Körperwelt eine für uns unsichtbare, hinter dem räumlichen Diesseits noch ein räumliches Jenseits?

Unserem Erachten nach ist dies kaum denkbar. Aus der Kenntniss unseres Sonnensystems ergiebt sich, dass die Abstände der Monde von den Planeten unendlichfach die Durchmesser der Monde übertreffen und ebenso wieder, dass die Abstände der Planeten von der Sonne unendlichfach grösser sind als ihre Durchmesser. In dem nämlichen Sinne übertrifft der Abstand anderer Fixsternsonnen von unserem Sonnensystem den Durchmesser des letzteren in einem ganz enormen Zahlenverhältniss. Gäbe es nun, wie man bisher angenommen hat, ausserhalb unserer Milchstrasse, die ein Ganzes bildet, andere Milchstrassensysteme, so müssten dem entsprechend diese extragalaktischen Milchstrassensysteme von uns um das Tausend-, ja Millionenfache des Milchstrassendurchmessers entfernt sein. Da nun schon die äussersten Lichtkörper unserer Milchstrasse in den stärksten Fernrohren kaum getrennt erscheinen, was dürften wir dann von der Sichtbarkeit jener in namenloser Ferne vermutheten Milchstrassensysteme erwarten?

Hätte die Sternenwelt keine räumlichen Grenzen, wäre sie unendlich und würde in jeder Richtung des Auges ein Milchstrassensystem liegen, dann müsste der ganze Sternenhimmel mit nahezu gleichmässiger Lichtgluth auf uns herableuchten. Die Vorstellung, dass die Körperwelt von den kleinsten Systemen zu immer grösseren geordnet sei, dass, wie Monde zu den Planeten, Planeten zu dem Sonnensystem gehören, sich auch Sonnensysteme zu Milchstrassensystemen, Milchstrassenschwärme wiederum zu Milchstrassengalaxien vereinigen und so fort bis ins Unendliche — diese Vorstellung ist als eine rein willkürliche nicht mehr haltbar.

Man hat noch auf anderem Wege die Unendlichkeit der Körperwelt zu retten gesucht. Das Licht — sagt man — müsse auf einem recht weiten Wege zuletzt erlöschen, sein Wellenschlag ermatten und schliesslich aufhören, so dass — nach dem Ausdruck A. v. Humboldt's — Welten so fern liegen könnten, dass ihre Lichtstrahlen nicht mehr die Ufer unserer Körperwelt zu erreichen vermöchten. In seinen Etudes d'astronomie stellaire hat Struve sogar den Coefficienten dieser Extinction des Lichtes zu bestimmen versucht und gefunden, dass letztere für Herschel's entfernteste Sterne volle 88 Procent der Lichtintensität beträgt [1]).

Indess ist die Extinction des Lichts auf weitem Raum noch nicht mit Sicherheit erwiesen, und selbst wenn sie sich erweisen liesse, so wäre damit nur die mögliche Existenz unendlich ferner, unserer sinnlichen Wahrnehmung entrückter Welten dargethan. Auf den Nachweis der wirklichen Existenz müssten wir in diesem Falle für immer verzichten.

Somit ist diese Hypothese gegenwärtig an sich ganz müssig. Sie ist aus dem Entwicklungsgang der Astronomie entsprungen, welche beständig bestrebt war, die Grenzen des Weltgebäudes in grössere Fernen hinauszurücken. Seitdem die alten Philosophen der jonischen Schule sich die Welt sehr eng, den Himmel als eine bewegliche Krystallschale, die Fixsterne als ihre eingehefteten goldenen Nägel dachten, hat jeder Fortschritt in der Astronomie die Grenzen der Körperwelt erweitert. Aristoteles und die alexandrinischen Astronomen verwarfen noch die Axendrehung der Erde und ihre Bewegung um die Sonne, weil sie den Fixsternenraum sich noch viel zu eng dachten. Er wurde grösser, so wie das Copernicanische System zur Geltung gelangte. Die Entdeckung des Fernrohres und jede Verschärfung der teleskopischen Sehkraft schob die Grenzen der Körperwelt immer weiter und weiter hinaus, bis endlich die Wissenschaft ihr Ziel überschoss und zur Annahme der Unendlichkeit fortgerissen wurde.

Huggins' Entdeckungen und Proctor's Darstellungen sind die ersten und bedeutsamen Schritte zu einer Umkehr. Wir haben bei dem heutigen Stande der Wissenschaft guten Grund, die von ihnen der Körperwelt zugewiesenen Schranken anzuerkennen. Es erscheint uns demnach die Annahme völlig gerechtfertigt, dass die sternen- und nebelfreien Oeffnungen am Himmel Blicke in den leeren Raum verstatten und dass der letzte, schwächste Schimmer des Milchstrassensystems uns zugleich die Grenze der Körperwelt bezeichnet.

[1]) Hermann J. Klein im Ausland 1873, S. 12.

II. Die zeitliche Begrenzung der Körperwelt.

Nachdem wir in dem Vorhergehenden den Nachweis zu führen versucht haben, dass die Körperwelt räumlich begrenzt sei, legen wir uns die Frage vor: Dürfen wir der Körperwelt auch zeitliche Schranken zuerkennen?

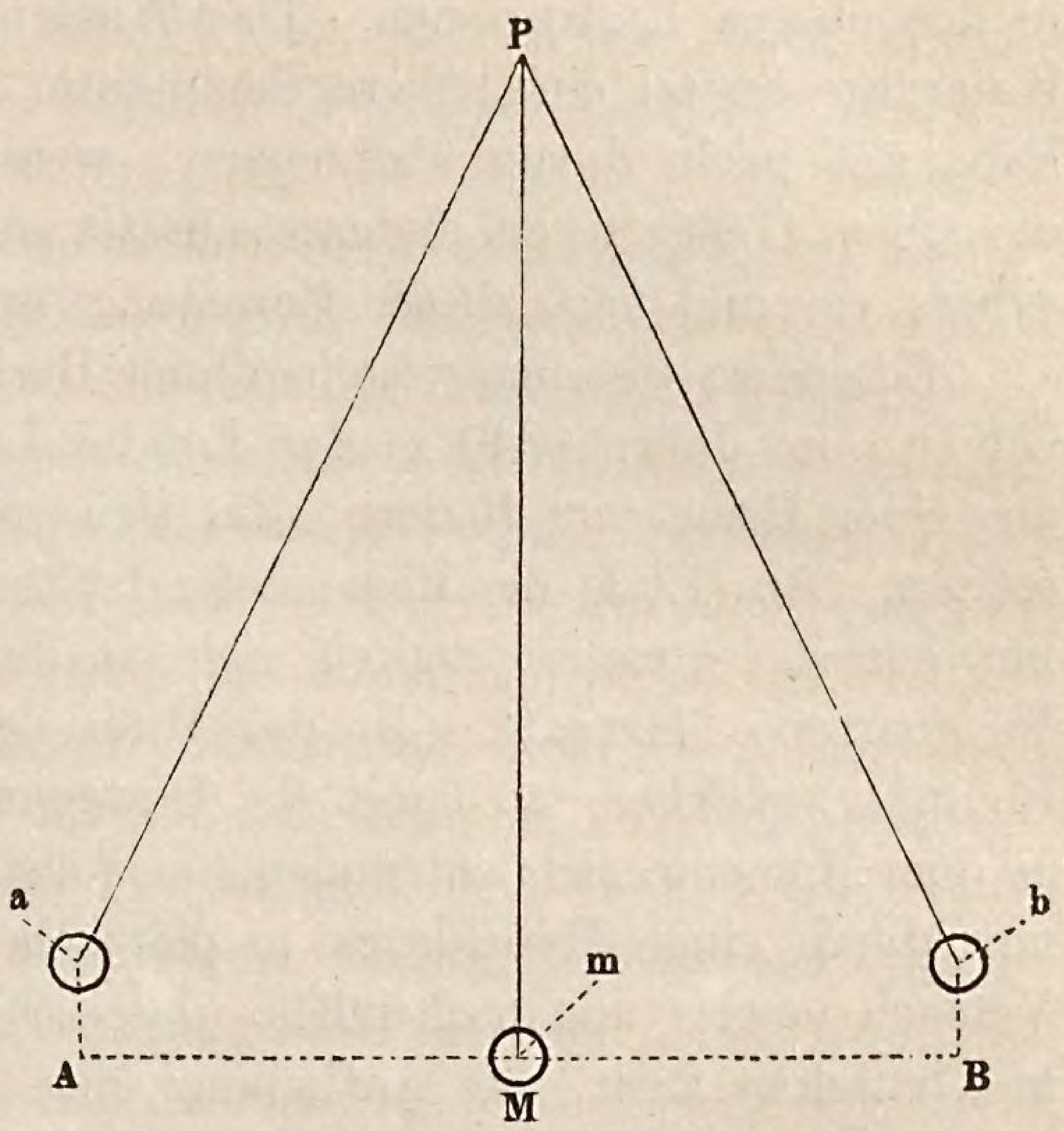
Diese Frage klingt befremdend, weil die Chemie uns belehrt hat, dass die Stoffe unzerstörbar seien, so dass die Körperwelt in einem zukünftigen Moment genau soviel wiegt wie im gegenwärtigen. Dennoch werden wir uns überzeugen, dass die Körperwelt wenigstens insofern einem Ende entgegengeht, als der ungeheure Vorrath lebendiger Kräfte, deren Träger sie jetzt ist, allmählich aufgezehrt wird, wobei sie natürlich einem Zustand der Ruhe, der Erstarrung, des Todes verfällt. Wir schöpfen diese Ueberzeugung, so seltsam dies zunächst auch erscheinen mag, aus dem Gesetz von der Erhaltung oder Unzerstörbarkeit der Kraft, einem Gesetz von der weittragendsten Bedeutung, welches in seiner allgemeinen Form von Julius Robert Mayer, einem schwäbischen Arzte, aufgestellt worden ist und dessen Namen unsterblich gemacht hat [1]). Dieses Gesetz lautet: Die Quantität der in dem Naturganzen vorhandenen Kraft ist unveränderlich. Nach diesem Gesetz kann also vom Verbrauch einer Kraft nicht die Rede sein; jede Kraft wird vielmehr, auch wenn sie für vernichtet gilt, umgesetzt in eine ihr gleichwerthige andere Kraft.

[1]) J. R. Mayer's erste Abhandlung hierüber erschien 1842 in dem Maihefte der „Annalen für Chemie und Pharmacie" von Wöhler und Liebig unter der unscheinbaren Ueberschrift: „Bemerkungen über die Kräfte der unbelebten Natur". Jenes Gesetz war nicht absolut neu; für beschränkte Gebiete von Naturerscheinungen war es schon von Newton und Bernouilli, sowie von Rumford und Humphrey Davy ausgesprochen worden. Mayer's Verdienst war es, seine allgemeine Gültigkeit erkannt und nachgewiesen zu haben. H. Helmholtz, Populäre wissenschaftliche Vorträge. Braunschweig 1871. Bd. II, S. 141.

Wir erläutern diese Verwandlung oder Umsetzung der Kräfte durch einige Beispiele.

Die Kraft, mit welcher wir ein Gewicht heben, ist nicht verbraucht; sie wird aufbewahrt in dem schwebenden Gewicht und äussert sich wieder beim Herabfallen desselben. Die Verwandlung einer Bewegung in Fallkraft und umgekehrt erfolgt alternirend bei den Schwingungen eines Pendels. Um das Gewicht *M* (Fig. 11) in die Stellung *a* zu bringen, d. h. in die Höhe *Aa* zu heben, muss mein Arm eine gewisse Arbeitskraft aufwenden. Diese ist nicht verloren, sondern das Gewicht besitzt nun eine der Arbeitskraft entsprechende Fallkraft. Sobald das Gewicht losgelassen wird, folgt es dem Zug der Schwere und geht nach *M* zurück; so wird die Arbeit des gehobenen Gewichtes in lebendige Kraft verwandelt. Aber das Gewicht bleibt nicht mehr ruhig in *M* hängen, sondern schwingt vermöge der erlangten Geschwindigkeit nach *b* hin, bis der Bogen nach dieser Seite ebenso gross ist wie der nach der Seite *a*, wobei die lebendige Kraft wieder in die Arbeit eines gehobenen Gewichtes verwandelt wird. Die nun erreichte Höhe *Bb* ist der Höhe *Aa* gleich; somit entspricht die Fallkraft, welche dem Gewicht in der Lage *b* innewohnt, genau derjenigen der Stellung *a*. Ebenso wird in den folgenden Schwingungen die Erscheinungsform der Kräfte wechseln. Diese Verwandlung der Kräfte könnte bis ins Unendliche fortdauern, wenn keine gewaltsame Hemmung einträte. In Wirklichkeit werden nach Ablauf eines gewissen Zeitraumes die Oscillationen kleiner; sie hören endlich ganz auf[1]) und zwar wegen der Reibung des schwingenden Körpers am Aufhängepunkt, sowie wegen des Luftwiderstandes. Doch geht die Bewegung nicht spurlos zu Grunde; vielmehr erleiden

Fig. 11.



[1]) Foucault's Pendel im Pantheon zu Paris schwang 5 bis 6 Stunden.

die hemmenden Körper durch sie eine Temperaturerhöhung: die Bewegung setzt sich in Wärme um.

Jede Bewegung, die in Ruhe übergeht, erzeugt Wärme. Jede Hemmung der Bewegung, also jeder Stoss, jede Reibung ist von einer Wärmeentwicklung begleitet. Wir könnten manigfache Beispiele aus dem gewöhnlichen Leben hierfür anführen. Eisen wird durch Hämmern glühend; die Axen der Wagenräder müssen durch sorgfältiges Schmieren vor der Entzündung durch Reibung geschützt werden; der Wilde erlangt durch Reiben des trockenen Holzes das Feuer. Die Regentropfen haben, am Boden angelangt, eine grössere Wärme als in den oberen Luftregionen. Das Wasser der Flüsse unterhalb starker Katarakte besitzt eine höhere Temperatur als oberhalb derselben. Man kann sich leicht davon überzeugen, wenn man Quecksilber mehrmals aus einem Gefäss in ein anderes schüttet und die Temperatur des Quecksilbers vor und nach dieser Bewegung mit einem Thermometer misst.

Besonders instructiv ist in dieser Beziehung der Apparat, welchen Grove im Jahre 1840 in der London-Institution zeigte. Er bestand aus einer Reihe von Rädern, die sich in (multiplicirende) Bewegung setzten. Am Ende der Reihe befand sich ein metallenes Rad, welches mit höchster Geschwindigkeit sich an der Peripherie eines hölzernen Nachbarrades bewegte. In der Mitte des Metallrades lag ein Stück Phosphor, welches, so lange die Bewegung dauerte, kalt blieb, aber in dem Momente sich entzündete, in welchem der arbeitende Mechanismus durch einen Hebeldruck in plötzliche Ruhe versetzt wurde. Der Versuch bewies augenscheinlich, dass sich die Kraft, welche das Rad in Thätigkeit hielt, bei Aufhebung der Bewegung sofort in Wärme verwandelte[1]).

Umgekehrt lässt sich nun auch Wärme in mechanische Kraft umsetzen. Die von der Sonne ausgestrahlte Wärme ist es, welche die Bewegungen in unserer Atmosphäre hervorruft, die Gewässer zu Wolken in die Höhe hebt und so die Strömung unserer Bäche und Flüsse hervorruft. Der Wind und der Waldbach, welche unsere Mühlen treiben, sind also Träger der durch die Sonnenwärme ihnen mitgetheilten Arbeitskräfte. Ebenso sind es Wärmekräfte, welche die staunenswerthen Arbeitsgrössen der Dampfmaschinen liefern. Die unter dem Kessel sich entwickelnde Wärme geht in Bewegung über; sie vermag so die mächtigsten Räder in Gang zu setzen und die grössten Lasten zu heben.

Bewegung und Wärme sind nur verschiedene Erscheinungen der Kraft; jeder Leistung mechanischer Kraft, jeder Arbeit entspricht stets

[1]) Ausland 1866, S. 890.

eine constante Menge Wärme. Somit kann eine gewisse Wärmemenge in eine bestimmte Menge von Arbeit verwandelt werden; diese Arbeitsmenge kann aber auch in Wärme und zwar genau in dieselbe Wärmemenge zurückverwandelt werden, aus der sie entstanden ist; in mechanischer Beziehung sind beide äquivalent. Wir schliessen daraus, dass die Wärme selbst eine Bewegung sei, eine innere, unsichtbare Bewegung der kleinsten elementaren Theile der Naturkörper [1]).

Wie gross ist nun das einer bestimmten Menge von Fallkraft oder Bewegung entsprechende Wärmequantum? Das Aequivalent der Wärme suchen heisst nichts anderes als die Frage beantworten: Wieviel Kilogramm-Meter sind erforderlich, um eine Wärmeeinheit zu erzeugen, oder — indem wir die Begriffe Kilogramm-Meter und Wärmeeinheit erklären — wie hoch muss ein Gewicht von der Schwere eines Kilogramms herabfallen, um soviel Wärme zu erzeugen, als nöthig ist, um die Temperatur eines gleichen Gewichtstheiles, also eines Kilogramms Wasser um 1^0 C. zu erhöhen? Nach Joule's besten Versuchen ist eine solche Wärmeeinheit gleich 425 Kilogramm-Metern.

Jetzt verstehen wir, warum Gase, wenn sie sich ausdehnen, also eine Arbeit verrichten, einen Theil ihrer Wärme verlieren; sie verlieren nämlich dabei genau soviel Wärme, als sie Arbeit dabei zur Ueberwindung des Gegendruckes leisten. Werden sie hingegen comprimirt, so entwickeln sie genau soviel Wärme, als Arbeit zu ihrer Compression nöthig ist. Nun erklärt sich uns die Thatsache, die schon Rumford kannte, dass ein Flintenlauf nach einem blinden Schuss viel heisser wird als nach Abfeuerung einer scharfen Ladung. Die Arbeit nämlich, welche zum Fortschleudern der Kugel erforderlich ist, besteht aus umgewandelter Wärme; wenn es also jemals gelänge, alle Wärme des entzündeten Pulvers auf das Geschoss wirken zu lassen, so würde der ganze Lauf kalt bleiben. Fragt man uns nun: Warum athmet man so schwer beim Besteigen eines Berges, warum schwitzt man auf Stirn, Brust, Nacken am stärksten und am allerwenigsten gerade an den Schenkeln, die doch thätig sind, während der Oberkörper ruht, d. h. von ihnen hinauf getragen wird? — so vermögen wir leicht Antwort hierauf zu geben. Die Athmungsmuskeln haben direct sich nicht den Berg hinauf zu heben; ihr Geschäft wäre nach wie vor das nämliche. Allein damit die Muskeln Blutwärme in Bewegung verwandeln können, muss das Blut mehr Wärme abgeben; damit es mehr Wärme abgeben kann, muss der Verbrennungsprocess durch Lufteinfuhr gesteigert werden. In den Muskeln der Schenkel wird die Mehrproduction in Bewegung, in Arbeit verwandelt, daher die angestrengten Gliedmassen

[1]) H. Helmholtz, l. c. Bd. II, S. 168.

verhältnissmässig kühl bleiben, während die Blutwärme in Kopf, Brust und Nacken, welche keine Bewegung zu verrichten haben, als Wärme herausbricht[1]).

Wir haben in dem letzten Beispiele bereits eine andere Form arbeitsfähiger Naturkräfte angedeutet: die chemischen. Körpermassen, die räumlich getrennt sind, ziehen sich an, fallen zusammen und verwandeln die Fallkraft, welche nach ihrem Zusammenstoss verschwindet, in Wärme. Genau was bei dem mechanischen Zusammenstoss geschieht, erfolgt auch bei dem chemischen, nämlich eine Verbindung der getrennten Stoffe unter Wärmeentwicklung

Alle chemischen Reactionen sind von Wärmewirkungen begleitet; entweder wird Wärme frei, oder es wird Wärme gebunden. Ersterem Falle begegnen wir in der Regel, wenn einfachere Moleküle in zusammengesetztere übergehen, letzterem wenn complicirtere Verbindungen sich in einfachere zersetzen.

Am augenscheinlichsten tritt uns die Entwicklung von Wärme durch chemische Verbindung im Verbrennungsprocesse entgegen. Die Verbrennung der Kohle ist die chemische Vereinigung des Kohlenstoffs mit dem Sauerstoffe der Luft: eine Folge der chemischen Verwandtschaft beider. Vorausgesetzt wird hierbei, dass vorher die kleinsten Theile beider Stoffe in engste Nachbarschaft zu einander gebracht sind. Wir können uns jenen Vorgang nicht anders denken, als dass sich Kohlenstoff- und Sauerstoffatome auf einander losstürzen und sich verbinden, worauf die neugebildeten Kohlensäuretheilchen in heftigster Molekularbewegung, d. h. Wärmebewegung erhalten werden. Ein Pfund Kohlenstoff, verbrannt mit Sauerstoff zu Kohlensäure, giebt so viel Wärme, als nöthig ist, um 80,9 Pfund Wasser vom Gefrierpunkt bis zum Sieden zu erhitzen[2]). Ebenso wird die Wärme des menschlichen Körpers durch einen Oxydationsprocess erzeugt. Der durch Speisen dem Blute zugeführte Kohlenstoff verbindet sich namentlich in den capillaren Verzweigungen der Adern mit dem Sauerstoff der eingeathmeten Luft. So findet also im Körper eine förmliche Verbrennung statt.

Hingegen wird Wärme gefesselt, wenn es gelingt, eine chemische Verbindung aufzuheben. Es wird dadurch eine „chemische Differenz" herbeigeführt, die nichts anderes ist als Kraft, jeden Augenblick auf der Lauer, sich in einer ihrer Proteusformen, sei es als Wärme, sei es als Bewegung zu äussern. Die Pflanzen nehmen Kraft auf, wenn sie Licht empfangen, das ja nach der Undulationstheorie durch

¹) Ausland 1867, S. 964.

²) H. Helmholtz, l. c. Bd. II, S. 169.

Schwingungen des Aethers entsteht. Diese Kraft verwandeln die Gewächse in „chemische Differenz", indem sie die Kohlensäure der Luft in ihre Elemente, in Kohlenstoff und Sauerstoff zerlegen, um aus dem Kohlenstoff den eigenen Leib aufzubauen, den Sauerstoff aber der Luft wieder zurück zu erstatten. „Die Pflanzenwelt bildet also ein Reservoir, in welchem die flüchtigen Sonnenstrahlen fixirt und zur Nutzniessung geschickt niedergelegt werden." [1]) Vor allem besitzen wir in unseren Kohlenflötzen grosse, von den Pflanzen unter Beihilfe der Sonnenstrahlen gesammelte Kraftvorräthe, Vorräthe von Licht und Wärme, die, wie Stephenson sagte, in der Erde gleichsam in Flaschen abgezogen sind für Zehntausende von Jahren und nun wieder zu Tage gebracht werden, um menschliche Zwecke fördern zu helfen.

Noch zwei Kräfte haben wir anzuführen: Elektricität und Magnetismus. Wie auch diese manigfacher Umwandlung fähig sind, zeigt das folgende Beispiel. Lässt man einen durch chemische Zersetzung des Zinks in der galvanischen Säule erzeugten elektrischen Strom durch einen dünnen Draht gehen, so erfährt der Strom in seiner Bewegung einen beträchtlichen Widerstand; ein Theil der Elektricität wird aufgehalten und scheinbar vernichtet. Dieser „vernichtete" Theil verwandelt sich in Wärme; der Draht wird glühend und schmilzt sogar unter Umständen. Hier sehen wir, wie durch einen chemischen Process, die Zersetzung des Zinks, Elektricität, durch diese aber Wärme erzeugt wird. Führt man nun den eben erwähnten Leitungsdraht in schraubenförmigen Windungen um ein hufeisenförmiges Eisenstück, so wird dieses, sobald der elektrische Strom durch den Draht hindurchgeleitet wird, magnetische Zugkräfte, die es zuvor nie besass, zu äussern beginnen. Hier findet also eine sichtbare Umwandlung von Elektricität in magnetische Zugkraft statt, welche wiederum im Stande ist, einem eisernen Körper eine Bewegung mitzutheilen. Der elektrische Strom kann auch in chemische Differenz zurückverwandelt werden. Zerschneiden wir nämlich den elektrischen Leitungsdraht und tauchen seine Enden in ein Gefäss mit Wasser, so wird das Wasser, sobald der elektrische Strom circulirt, in seine einfachen Bestandtheile, in Wasserstoff und Sauerstoff zerlegt, d. h. es bildet sich eine chemische Differenz.

Aus unseren bisherigen Betrachtungen geht hervor, dass es in Wahrheit nur eine einzige Kraft giebt, eine Kraft freilich, welche proteusartig ist und sich bald als Fallkraft, Bewegung, Wärme, chemische Anziehung, Elektricität und Magnetismus offenbart. Die

[1]) J. R. Mayer, Die Mechanik der Wärme. 2. Aufl. Stuttgart 1874. S. 54.

Summe der (scheinbar verschiedenartigen) Kräfte, welche das Weltall beherrschen, ist immer gleich gross. Zur Erläuterung fügen wir noch einen Vergleich hinzu, der zwar trivialer Natur ist, sich jedoch vorzüglich eignet zur Verdeutlichung des eben ausgesprochenen Gedankens. Die Summe sämmtlicher Kräfte im Weltganzen möge verglichen werden mit einem Geldwerth von 1000 Mark. Die Münzsorten, welche diesen Werth repräsentiren, sollen ebenso verschiedener Art sein wie die Naturkräfte. Die mechanischen Kräfte mögen vertreten sein durch 400 Mark (in 20 Zwanzigmarkscheinen), die Wärmekräfte durch 400 Mark (in 40 Zehnmarkstücken), die chemischen Kräfte durch 100 Mark (in 100 Markstücken), die elektrischen durch 50 Mark (in 100 Fünfzigpfennigstücken), die magnetischen durch 50 Mark (in 250 Zwanzigpfennigstücken). Tauschen wir auch noch so oft die eine Art von Münzen in andere Münzsorten um, so ändern sich zwar die Werthzeichen; aber die Summe bleibt immer dieselbe. So beharrt auch in der Natur trotz unaufhörlicher Umsetzung der Kräfte deren Gesammtwerth.

Wenn wir irgend eine körperliche Arbeit verrichten, so verbrauchen wir Muskelkraft. Diese entstammt der Blutwärme, welche wiederum hervorgeht aus der chemischen Verbindung des durch die Speisen zugeführten Kohlenstoffes und des durch die Luft eingeathmeten Sauerstoffes. Jene chemischen Kräfte sind aufgespeichert in dem Kohlenstoff der Nahrungsmittel. Da diese aber entweder in Pflanzen oder durch vegetabilische Kost genährten Thieren bestehen, die Pflanzen aber nur mit Hilfe der chemisch wirksamen Sonnenstrahlen sich entwickeln können, so ergiebt sich, dass unsere ganze Existenz bedingt ist durch jenes Himmelslicht, das sich an jedem Tage über unsere Erde ergiesst. Doch wir sind auch noch in anderer Hinsicht von der Sonne abhängig. Wir verdanken ihr nicht bloss die zu unserem Leben direct nothwendigen Sonnenkräfte (Licht und Wärme), sowie alle Nahrung; wir verdanken ihr auch die bewegenden Kräfte in der atmosphärischen und oceanischen Hülle, von denen unsere Erde umgeben ist; wir verdanken ihr sogar die mächtigen Kräfte, welche unsere Maschinen treiben, da die Kohle vegetabilischen Ursprungs ist. Auf Sonnenstrahlen fahren wir also dahin, wenn uns der Eisenbahnzug weiter trägt, freilich nicht auf den jetzt sichtbaren, sondern auf denen, die vielleicht vor Myriaden von Jahren unsere Erde beschienen und nun in den Kohlenvorräthen aufbewahrt sind. Somit könnten auch wir sagen, obwohl in etwas anderem Sinne des Wortes, was einst die die Incas von Peru von sich glaubten: Wir sind Kinder der Sonne.

Aus den zahlreichen oben angeführten Beispielen geht hervor, dass in der Natur die Kräfte beständig in einander übergehen und

nach mehr oder weniger Umsetzungen wieder ihre ursprüngliche Erscheinungsform annehmen. Es zeigt sich also gewissermassen ein Kreislauf der Kräfte. Doch warnen wir vor dem Ausdruck „Kreislauf". Bei allen Functionen der mechanischen, chemischen, elektrischen und magnetischen Kräfte wird Wärme erzeugt; indess gelingt es niemals, diese vollkommen in die erstgenannten Kräfte zurückzuverwandeln. So endet also sicher jener vermeintliche Kreislauf mit Wärmeerzeugung. Was geschieht aber mit der Wärme? Die Wärme heisser Körper geht so lange durch Leitung und Strahlung auf weniger warme über, bis ein Temperaturgleichgewicht hergestellt ist. Sonne und Planeten werden also so lange Wärme ausstrahlen, bis die Temperatur ihrer Masse der des Weltäthers gleich ist. Ihre Wärme dient schliesslich nur dazu, die Temperatur des Weltäthers ein wenig zu erhöhen. Ist jene Temperaturausgleichung erfolgt, so ist keine Kraftäusserung der Wärme mehr möglich; denn eine solche setzt Wärmedifferenz voraus. Der Kosmos ist daher etwas Sterbliches, zeitlich Begrenztes; er geht seinem Ende, d. i. der Erschöpfung seiner Fülle an lebendigen Kräften unaufhaltsam entgegen.

Zum Beweise dafür, dass hier allgemeine Wahrheiten, nicht individuelle Speculationen vorgetragen werden, führen wir noch folgende Worte von Helmholtz[1]) an:

„Bei jeder Bewegung irdischer Körper geht durch Reibung oder Stoss ein Theil mechanischer Kraft in Wärme über, von der nur ein Theil wieder zurückverwandelt werden kann; dasselbe ist in der Regel bei jedem chemischen und elektrischen Processe der Fall. Daraus folgt also, dass der erste Theil des Kraftvorrathes, die unveränderliche Wärme, bei jedem Naturprocesse fortdauernd zunimmt, der zweite, der der mechanischen, elektrischen, chemischen Kräfte, fortdauernd abnimmt, und wenn das Weltall ungestört dem Ablaufe seiner physikalischen Processe überlassen wird, wird endlich aller Kraftvorrath in Wärme übergehen und alle Wärme in das Gleichgewicht der Temperatur kommen. Dann ist jede Möglichkeit einer weiteren Veränderung erschöpft; dann muss vollständiger Stillstand aller Naturprocesse von jeder nur möglichen Art eintreten. Auch das Leben der Pflanzen, Menschen und Thiere kann natürlich nicht weiter bestehen, wenn die Sonne ihre höhere Temperatur und damit ihr Licht verloren hat. . . Das Weltall wird von da an zu ewiger Ruhe verurtheilt sein."

Schon jetzt hat sich ein grosser Theil der ursprünglichen Sonnenkräfte im Weltraum verloren. Helmholtz[2]) hat berechnet, dass,

[1]) l. c. Bd. II, S. 116 f.
[2]) l. c. Bd. II, S. 120. 134—136.

wenn das Sonnensystem nach der gegenwärtig herrschenden Hypothese jemals ein Gasnebel von ausserordentlicher Dünnheit war, zur Zeit nur noch $^1/_{454}$ des ursprünglichen Vorraths mechanischer Kraft vorhanden ist. Durch die Verdichtung der äusserst verdünnten kosmischen Materie zu dem jetzigen Sonnensystem musste nach Helmholtz eine Wärme erzeugt werden, welche hinreichend wäre, eine der vereinigten Masse von Sonne und Planeten gleiche Wassermasse um nicht weniger als 28 Millionen Grade C. zu erhitzen.

Nach den sorgfältigen Messungen Pouillet's liefert die Sonne in jeder Minute eine Wärmemenge, welche im Stande wäre, 12650 Millionen Kubik-Meilen Wasser um 1 ° C. zu erhöhen (nach Mayer 12650 „Gross-Calorien") [1]). Eine Verbrennung der Sonnenmasse erweist sich auf die Dauer als unfähig, einen solchen Wärmereichthum zu entwickeln; selbst das beste Brennmaterial würde, wenn der zum Verbrennen nöthige Sauerstoff zugeführt und in gleicher Zeit eine gleiche Wärmemenge hervorgebracht werden könnte, wie sie gegenwärtig die Sonne liefert, nur während eines Zeitraumes von 4600 Jahren einen solchen Wärmeeffect zu erzeugen vermögen. Dann aber müsste seit historischen Zeiten bereits eine merkliche Abnahme der Sonnenwärme oder des Sonnendurchmessers stattgefunden haben; bisher konnte jedoch weder das eine noch das andere nachgewiesen werden. Es ist nun die Frage, auf welchem Wege ein Ersatz für so ungeheure Wärmeverluste gewonnen wird.

Zwei Hypothesen giebt es, welche uns den Ursprung der von der Sonne ausgestrahlten Wärmekräfte zu erklären versuchen.

Die erste, von Helmholtz aufgestellt, geht davon aus, dass bei Verdichtung gasartiger oder flüssiger Massen eine Temperaturzunahme stattfindet. Wenn, wie dies die geringe Dichtigkeit der Sonne [2]) und andere Umstände andeuten, die Sonne den Zustand der Incompressibilität noch nicht erreicht hat, so haben wir in der künftigen Annäherung ihrer Theile einen Wärmefonds, der wahrscheinlich gross genug ist, die Bedürfnisse des Menschengeschlechts bis zum Ende seines Aufenthalts hinieden zu befriedigen. Eine solche Verdichtung ist im Grunde nichts anderes als ein Fallen der kleinsten Körpertheilchen nach dem Centrum hin oder eine Wirkung der Gravitation. Es lässt sich berechnen, dass eine Verdichtung, welche den Durchmesser der Sonne nur um den zehntausendsten Theil seiner jetzigen Grösse verminderte, hinreichen würde, die in 2100 Jahren entäusserte Wärme

[1]) J. R. Mayer, l. c. S. 164. 165.

[2]) Ihr specifisches Gewicht beträgt nach F. Zöllner 1,46. Berichte d. Kgl. Sächs. Gesellschaft d. W. math.-phys. Classe. Sitzung am 2. Juni 1870, S. 117.

wieder zu ersetzen [1]). Eine so geringe Veränderung des Sonnendurchmessers könnte nur durch die genauesten astronomischen Beobachtungen nachgewiesen werden. Würde die Sonne sich um das Vierfache, also bis zur specifischen Schwere der Erde verdichten, so würde der jetzige Ausstrahlungsbetrag noch auf 17 Millionen Jahre gedeckt sein.

Nach einer anderen Hypothese, deren Vertreter J. R. Mayer ist, werden die ungeheuren Wärmemengen, welche die Sonne liefert, durch das Einstürzen von Asteroiden und Meteoriten in die Sonnenmasse ersetzt. An solchen Körpern fehlt es nicht. Man hat berechnet, dass die Erde auf jedem durchlaufenen Raum, der ihrer Körpergrösse entspricht, 13 000 mit unbewaffnetem Auge sichtbaren Sternschnuppen begegnet. Selbst wenn man annimmt, dass das Gewicht einer Sternschnuppe durchschnittlich nur $^1/_4$ Gramm beträgt, so müsste der Sternschnuppenring, den die Erde im November schneidet, 560 000 Centner wiegen [2]). Da Sternschnuppenfälle auf Erden ausserordentlich häufig sind, so ist die Annahme erlaubt, dass zahlreiche Schwärme von Meteoriten in allen Theilen des Sonnensystems kreisen und dass sich Sternschnuppenfälle auch auf anderen Himmelskörpern häufig ereignen, in grösster Menge auf denen, welche die grösste Masse haben, vor allem also auf der Sonne. Da nun die denkbar kleinste Geschwindigkeit eines auf die Sonne stürzenden kosmischen Körpers in der Secunde 445 750 Meter (oder 60 geographische Meilen), die grösste 630 400 Meter (oder 85 geographische Meilen) beträgt, so muss sich nach einem derartigen Zusammenstosse eine ungeheure Wärmemenge entwickeln; denn diese wächst wie das Quadrat der Geschwindigkeit, ist also 4-, 9- oder 16 mal so gross, wenn die Geschwindigkeit auf das 2-, 3- oder 4 fache steigt. Eine Asteroidmasse erzeugt bei ihrem Sturze auf die Sonne 4000 bis 8000 mal soviel Wärme, als eine gleich grosse Menge Steinkohlen durch Verbrennen liefert [3]).

Da die Sonne in jeder Minute 5,17 Quadrillionen Wärmeeinheiten [4]) (= 12 650 Millionen Gross-Calorien, vgl. S. 46) nach allen Richtungen hin aussendet, 1 Kilogramm Asteroidmasse aber beim Niedersturz auf die Sonnenoberfläche 24 bis 48 Millionen Wärmeeinheiten entwickelt, so muss die Quantität der auf die Sonne herabfallenden kosmischen Materien in jeder Minute 100 000 bis 200 000 Billionen Kilogramme

[1]) Helmholtz, l. c. Bd. II, S. 131.

[2]) Richard A. Proctor, Other Worlds than Ours. 4th ed. London 1878. p. 183. 191.

[3]) Mayer, l. c. S. 178—182.

[4]) Unter einer Wärmeeinheit verstehen wir diejenige Wärmemenge, durch welche ein Kilogramm Wasser um 1° C. erhöht wird.

betragen, wenn die ausgestrahlten Sonnenkräfte vollständig wieder ersetzt werden sollen. Der Mond, der eine Masse von c. 90 000 Trillionen Kilogrammen repräsentirt, vermöchte den Verbrauch der Sonnenkräfte 1 bis 2, die Masse der Erde hingegen 50 bis 100 Jahre lang zu decken [1]). Da die in einer Minute auf die Sonne stürzenden Asteroidmassen ein Gewicht von 100 000 bis 200 000 Billionen Kilogrammen erreichen müssen, so würde hieraus für einen Quadratmeter Sonnenoberfläche eine Massenzunahme von durchschnittlich 17 bis 34 Gramm per Minute folgen. Ein schwacher Regen auf Erden giebt in der Stunde etwa eine 1 Millimeter hohe Wasserschicht, was für einen Quadratmeter Oberfläche in einer Minute 17 Gramm ausmacht. Somit genügt ein sanfter Meteoritenregen, den Verbrauch von Sonnenkräften zu decken.

Die beständige Zufuhr kosmischer Massen würde in zweifacher Beziehung wichtige Veränderungen des Sonnenkörpers zur Folge haben: durch sie würde sowohl das Volumen, als auch das Gewicht der Sonne vermehrt werden. Die Zunahme des Volumens würde sich sicher menschlichen Blicken entziehen, da, wenn man das specifische Gewicht der kosmischen Massen dem der Sonne gleichsetzt, 28 500 bis 57 000 Jahre erforderlich wären, damit sich der scheinbare Sonnendurchmesser um eine einzige Bogensecunde vergrösserte. Dagegen müsste die Gewichtszunahme der Sonne eine merkbare Beschleunigung der Planetenbewegungen, d. h. eine Verkürzung ihrer Umlaufszeiten zur Folge haben, nämlich eine jährliche Verkürzung des siderischen Jahres um $^1/_{36}$ bis $^1/_{70}$ Millionentheil seiner Länge oder um $^7/_8$ bis $^1/_2$ Zeitsecunde. Da die Beobachtungen der Astronomen dies nicht bestätigen, so liegt hierin eine zur Zeit noch nicht zu beseitigende Schwierigkeit für diese Hypothese [2]).

Für das, was wir hier nachweisen wollen, nämlich ein einstmaliges Ende, einen Stillstand, eine Erstarrung in dem Bereich der Körperwelt, ist es überdies ohne Bedeutung, welche von beiden Hypothesen das Feld behaupten wird. Denn soviel ist gewiss, dass weder die Verdichtung, d. h. Selbstverzehrung der Sonne, noch die Meteormassen unerschöpfliche Kraftquellen bilden. Versiegen sie aber einst, so ist das Loos der Sonne und damit das unseres Planetensystems besiegelt.

Die Vergänglichkeit des letzteren lässt sich ferner durch folgende Thatsache beweisen.

Der Umlauf der Planeten um die Sonne ist das Resultat zweier Kräfte: der senkrecht wirkenden Anziehungskraft der Sonne und der

[1]) Mayer, l. c. S. 193 f.

[2]) Mayer, l. c. S. 196. 197.

rechtwinklig gegen sie gerichteten Flug- oder Tangentialkraft der Planeten. Beide stehen in solchem Gleichgewicht und in solcher Harmonie, dass die Umläufe immer in derselben kreisförmigen oder vielmehr elliptischen Bahn erfolgen müssten. Das Erscheinen des Encke'schen Cometen hat jedoch einen Umstand aufgedeckt, der früher übersehen worden war. Die Bahn desselben verändert sich nämlich bei jedem Umlauf um die Sonne, indem sich der Comet derselben mehr und mehr nähert, wobei er seine Umlaufszeit jedesmal um 3 Stunden verkürzt. Diese Art der Bewegung entspricht ganz der in einem widerstehenden Mittel, welches die Tangentialkraft schwächt und so der Gravitation der Sonne ein Uebergewicht verleiht.

Die Existenz eines Weltäthers geht auch aus einer anderen, an den Cometenschweifen beobachteten Thatsache hervor. Diese sind nämlich häufig gekrümmt, und zwar ist die convexe Wölbung stets nach derjenigen Seite gerichtet, nach welcher sich der Comet vorwärts bewegt, gerade so, als ob er durch ein Widerstand leistendes Medium zurückgebogen würde. Besonders deutlich zeigte sich dies beim Donati'schen Cometen (1858 und 1859), dessen Schweif überdies auf der convexen Seite entschieden schärfer begrenzt war als auf der concaven, worin ebenfalls ein Hinweis auf ein widerstehendes Mittel liegt [1]. Dass uns die Cometen jenes Medium zuerst verrathen, darf uns nicht Wunder nehmen; sie gehören ja zu den zartest gebauten, man möchte fast sagen schattenhaftesten Wesen der Körperwelt [2]) (s. Absch. Cometen).

Zur Annahme jenes Mediums zwingt uns überdies schon die Existenz des Lichtes, mag dasselbe nun nach der Emissionstheorie selbst materiell sein oder nach der Undulationslehre in den Schwingungen eines überall verbreiteten Aethers bestehen.

Ist ein solches Medium aber wirklich vorhanden, so wird der Encke'sche Comet fortfahren, sich der Sonne zu nähern und seine Umlaufszeit zu verkürzen, und es wird endlich eine Zeit kommen, wo er in die Sonne stürzt. Jenes Widerstand leistende Mittel bleibt jedoch auch nicht ohne Wirkung auf die Bewegungen der Planeten, obwohl an so massiven Körpern dieser hemmende Einfluss erst nach ausser-

[1]) Joh. Müller, Lehrbuch der kosmischen Physik. 4. Aufl. Braunschweig 1875. S. 213.

[2]) Schon Kepler, der die Entwicklung der Cometenschweife auf die Wirkung der Sonnenstrahlen zurückführte, mochte an ein widerstrebendes Medium im Weltraum denken, wenn er sagt: Der Cometenschweif könne sich aus verschiedenen Ursachen krümmen, unter anderen „wenn des Cometens Kopff so schnelles Lauffs, dass er die von den Sonnenstraalen ausgetriebene Materi hinter seiner liesse.“ F. Zöllner, Ueber die Natur der Cometen. Leipzig 1872. S. 133.

ordentlich langen Zeiträumen bemerkbar sein wird. Sicher ist jedoch, dass diese in immer kleiner werdenden Bahnen die Sonne umkreisen. Wie lange auch die Dauer und wie gross auch die Zahl ihrer Umläufe sein mag: einmal wird doch die Zeit kommen, wo die Monde in den Hauptplaneten, diese aber in der Sonne ihr Grab finden. Auch hier postulirt die moderne Wissenschaft ein Ende des Mechanismus, den wir das Sonnensystem nennen.

Speciell die Vergänglichkeit des organischen Lebens auf Erden lässt sich auch noch aus anderen Gründen erweisen: zunächst aus der Verzögerung der Erdrotation in Folge Hemmung durch die Gezeiten.

Um eine solche Verzögerung nachzuweisen, verfährt man im wesentlichen in folgender Weise: Man ermittelt zunächst möglichst genau den Zeitraum zwischen zwei weit aus einander gelegenen Sonnenfinsternissen und bestimmt hieraus das Verhältniss zwischen der Umdrehungszeit der Erde und der mittleren Umlaufszeit des Mondes. Vergleicht man die von den ältesten Astronomen hinterlassenen Beobachtungen mit denen der Gegenwart, so lässt sich die geringste Veränderung der absoluten Länge des Tages durch eine Aenderung jenes Verhältnisses oder durch eine Störung des Mondlaufes wahrnehmen.

Laplace wollte nun aus den Beobachtungen Hipparch's (c. 150 v. Chr.) gefunden haben, dass im Laufe von 2000 Jahren der Erdentag (= 86400 Secunden Sternzeit) sich nicht um $^1/_{500}$ einer Zeitsecunde verändert habe, dass somit die Länge eines Erdentages in den historischen Zeiten als völlig constant zu betrachten sei. Die Berechnung Laplace's hat sich indess als unrichtig erwiesen; denn die neueren sorgfältigen Untersuchungen von Adams haben zu dem Ergebniss geführt, dass der Erdentag 0,01197 Zeitsecunde länger ist als vor 2000 Jahren; seine Zunahme beträgt demnach in einem Jahre 0,000006 Secunde und erst in 167000 Jahren 1 Secunde.

Wir kennen auch bereits die Ursache, welche dieser Verzögerung der Rotationsgeschwindigkeit zu Grunde liegt. Es ist, wie Mayer uns gelehrt hat[1]), die gegen die Ostränder der Continente gerichtete Kraft der Gezeiten, welche jene Retardation hervorruft. Wäre die Erde ein fester Körper ohne jegliche Wasserbedeckung, so könnten Mond und Sonne durch ihre Anziehungskraft keine Verzögerung der Erdumdrehung bewirken. Nun aber ist sie theilweise mit einer Hülle von verschiebbaren Theilen, den Oceanen bedeckt, die durch Ebbe und Fluth rhythmisch bewegt werden. Infolge des Einflusses der Mond- und Sonnenanziehung streben die oceanischen Gewässer gegen

[1]) l. c. S. 205 ff.

den Punkt oder Meridian hin, über und unter welchem der Mond culminirt. Genau in dieser Weise würden sich die Gezeiten entwickeln, wenn die Wassertheile bei ihrer Bewegung keinerlei Widerstand zu überwinden hätten; unter diesen Verhältnissen würde auch keine Hemmung der Erdrotation stattfinden. Da jedoch die Wasserbewegung ansehnlichen Widerstand zu überwältigen hat, so tritt in Wirklichkeit die Fluth erst $2\frac{1}{2}$ Stunden nach dem Durchgang des Mondes durch den Meridian ein. Somit ist der Wasserstand östlich des Meridians, durch den der Mond geht, stets höher als im Westen desselben, woraus sich nothwendig ein Drängen und Fliessen der oceanischen Wasser nach Westen ergiebt. Da der von ihnen ausgeübte Stoss gegen die westlichen Wandungen der Oceane, d. h. gegen die Ostränder der Continente der Richtung der Erdrotation gerade entgegen gesetzt ist, so wird er unbedingt die lebendige Kraft dieser Bewegung hemmen. Mayer hat den Effect dieses Stosses theoretisch berechnet und gefunden, dass er einer mechanischen Arbeit von 464 000 Millionen Kilogramm-Metern in jeder Secunde oder 6000 Millionen Pferdekräften gleich ist und dass in der Zeit von 2500 Jahren die Tageslänge durch den Einfluss von Ebbe und Fluth um $^1/_{1\,400\,000}$ oder, den Tag zu 86 400 Secunden berechnet, um $^1/_{16}$ Secunde vergrössert werden müsste, falls das Volumen der Erde ein unveränderliches wäre. Stimmt nun auch die von Mayer berechnete Zahl nicht mit der von Adams gefundenen überein, so dürfen wir doch deshalb an der Wahrheit der Thatsache nicht zweifeln. Abgesehen davon, dass jene Berechnung Mayer's nicht absolute Genauigkeit beansprucht, ist es auch gar nicht unwahrscheinlich, dass der Erddurchmesser in Folge fortdauernder Abkühlung sich verkürzt hat und dass somit die Kraft, welche die Drehungsgeschwindigkeit der Erde hemmt, durch die Effecte der Abkühlung theilweise neutralisirt wird [1]). Jedenfalls sind die Gezeiten hemmende Kräfte.

Vermindert sich aber die Rotationsgeschwindigkeit der Erde auch nur ein wenig, so genügt dies für unsere Beweisführung; denn aus der kleinsten Grösse entsteht, wenn sie mit einer unendlichen multiplicirt wird, — und die Zeit ist unendlich — der höchste Werth. Jene kleine Grösse führt zuletzt in unserem Falle dahin, dass die Erde einst — gleichwie der Mond nur eine Axendrehung im Monat vollzieht — nur eine Axendrehung im Jahre vollendet, dass somit die

[1]) Mayer (l. c. S. 239) hat berechnet, dass eine Verlängerung des Sterntages um $^1/_{16}$ Secunde innerhalb 2500 Jahren durch eine in gleicher Zeit erfolgende Verkleinerung des Erdhalbmessers um $4\frac{1}{2}$ Meter compensirt werden könnte.

eine Hälfte der Erde der Sonne immer zugewandt, die andere dagegen der Sonne beständig abgewandt bleibt. Stellt schliesslich die Erde ihre Axendrehung völlig ein, so gestalten sich zwar die Verhältnisse etwas günstiger; aber sie sind immerhin noch unerquicklich genug; denn dann würde überall auf Erden, selbst in den Aequinoctialländern, der Tag 6 Monate und die Nacht ebenfalls 6 Monate dauern. Während die eine Erdhälfte ein halbes Jahr lang ununterbrochen den versengenden Sonnenstrahlen ausgesetzt wäre, welche die Meere in Dampf verwandelten, würde die andere Hälfte in eisige Nacht getaucht sein. Damit aber wäre das Ende alles organischen Lebens gekommen; wenigstens ist eine Accommodation desselben an die dann eintretenden Wärmeverhältnisse menschlichen Begriffen nach unmöglich.

Ferner bestimmen uns noch folgende Gründe dazu, die organische Belebung der Erde als eine zeitlich begrenzte anzusehen:

Die Existenz der Organismen ist nicht bloss an gewisse Temperaturverhältnisse, sondern auch an bestimmte Stoffe gebunden. Ob diese Stoffe aber auch fernerhin in der für das organische Leben allein erspriesslichen Form bestehen werden, muss uns bei Betrachtung gewisser chemischer Vorgänge in der Natur als höchst fraglich erscheinen.

Noch enthält unsere Lufthülle ein genügendes Mass von Kohlensäure. Wir wollen hier nicht erörtern, ob die Atmosphäre in früheren geologischen Zeitaltern reichlicher mit Kohlensäure geschwängert war als jetzt: nur das sei bemerkt, dass die ausserordentlich üppige Entwicklung des Pflanzenlebens in früheren geologischen Perioden darauf hindeutet. Soviel ist jedoch sicher, dass die dem Erdinnern entströmenden Kohlensäuremengen bei fortschreitender Abkühlung unseres Planeten allmählich abnehmen und einst versiegen müssen. Selbst vorausgesetzt, was schwerlich je der Fall sein könnte, dass alle von der Vegetation verbrauchte Kohlensäure der Luft durch thierische Aushauchung wiedergegeben würde, so müsste doch eine Abnahme der Kohlensäure in der Atmosphäre eintreten. Dieselbe verliert nämlich nicht bloss durch die Absonderung von kohlensaurem Kalk in den Schalen und Skelettheilen unzähliger thierischer Organismen, wie der Rhizopoden, Korallen, Echinodermen, Schalthiere, Krebse und Wirbelthiere, sondern auch bei der Verwitterung der verschiedenartigsten Gesteine durch Bildung unlöslicher Carbonate unwiederbringlich so grosse Quantitäten von Kohlensäure, dass dadurch die Zufuhr nach und nach beträchtlich geschmälert wird [1]).

Ebenso ist eine stetige Abnahme des Sauerstoffes in der Luft

[1]) Karl A. Zittel, Aus der Urzeit. München 1875. S. 13. 14.

in Folge der Oxydation vieler Mineralien, namentlich des Eisenoxyduls, zu befürchten.

Somit ist vorauszusehen, dass Kohlensäure und Sauerstoff in der Atmosphäre allmählich aufgezehrt werden; damit aber wäre dem organischen Leben auf Erden das Todesurtheil gesprochen.

Zu gleichem Resultate führt uns die Betrachtung über die Verbreitung des Wassers und die chemischen Verbindungen, welche dasselbe eingeht. Seine Gesammtmasse nimmt allmählich ab und zwar weniger durch die Organismen, da diese ihren Wassergehalt nur selten in unlöslicher Form binden, ihn vielmehr bei ihrem Tode meist wieder abgeben, sondern durch Absorption und Verwitterung der Gesteine. Selbst die dichtesten derselben, wie Granit, Gneiss, Porphyr, Basalt, Achat, Opal, saugen das Wasser auf, und wenn einstmals die Erde in ihrem Innern erkaltet ist, wird dasselbe, dem Zug der Schwere folgend, bis in die grössten Tiefen hinabsteigen und somit von der Erdoberfläche gänzlich verschwinden. Ebenso vermindert sich das Wasser, wenn auch sehr langsam, so doch unausgesetzt durch die Bildung von Hydraten beim Verwitterungsprocess der Gesteine; denn es wird hierbei chemisch gebunden.

Man hat berechnet, dass $^1/_{17}$ der ursprünglichen Wassermenge der Erde auf diese Weise bereits gebunden ist. Ohne Zweifel wird sich dieser Process unaufhaltsam weiter vollziehen und einst — wenn auch nach sehr langen Zeiträumen — eine Vernichtung der organischen Welt herbeiführen. Auf dem wasserlosen Monde ist jene Hydratbildung bereits vollendet; auf der hocherhitzten Sonnenoberfläche hingegen hat sie noch nicht begonnen.

So eröffnet sich im Hinblick auf die besprochenen Verhältnisse für unseren Planeten eine wenig erfreuliche Perspective. Das Ringen der Naturkräfte auf demselben wird einst ein Ende erreichen; alles Leben wird dann aufgezehrt sein; Erstarrung, Tod wird die Erde beherrschen. Und nicht bloss unsere Erde, sondern das ganze Sonnensystem ist eine Uhr, die abläuft. Im Sinne der mechanischen Wärmetheorie heisst jenes Ende soviel als Erlöschen der lebendigen Kraft, Umwandlung derselben in Wärme, Zusammensturz aller planetarischen Massen auf der Sonnenoberfläche mit dem letzten Effect einer kleinen Temperaturerhöhung des Weltäthers.

Es durchdringen uns eigenthümliche Schauer, wenn wir daran denken, dass dereinst alle die wundervollen Gebilde der leblosen und der lebendigen Natur, sowie die herrlichsten Blüthen des menschlichen Geistes untergehen müssen in Nacht und Tod. Es klingt dies wie ein frivoles Todesurtheil über die Schöpfung, und doch ist es nur der Ausdruck einer wissenschaftlich unumstösslichen Wahrheit.

Secchi [1]) äussert mit Bezug auf die einstige Erstarrung des Sonnenkörpers, dass solche Zustände nur periodisch sein dürften und dass auch hier dem eisigen Hauche des Winters ein fröhliches Erwachen folge zu neuem Leben. „Vielleicht bedarf es nur“ — fährt Secchi fort — „des Eintretens eines aussergewöhnlichen Phänomens, z. B. des Zusammentreffens mit einem der Tausende von Nebelhaufen, welche in höchster Gluthhitze den Weltenraum durchlaufen, um das erstarrte System wieder zu entflammen und in den gasigen Zustand zurückzuversetzen, aus welchem es sich im Laufe der Zeiten zum organischen Leben entwickelt hatte. Haben wir doch am 12. Mai 1866 im Sternbilde der nördlichen Krone das plötzliche Aufflammen eines Sternes 10. bis 11. Grösse bis zum Glanze 2. Grösse direct beobachten können, und von manchen ähnlichen Erscheinungen berichten die Annalen der Astronomie.“

Wir wollen hier nicht untersuchen, in wieweit derartigen Annahmen eine Berechtigung zugestanden werden kann oder nicht; nur das eine sei uns auszusprechen gestattet, dass hierdurch das Weltende zwar bis in undenkbare Fernen hinausgerückt, aber nicht aufgehoben wird. Der Glaube an einen einstigen Weltuntergang, dem das Volksbewusstsein huldigt und welchem auch die heilige Schrift vielfach Ausdruck verleiht, erhält unzweifelhaft durch die Resultate der modernen Wissenschaft eine Stütze.

Wer einer materialistischen Weltanschauung huldigt, der mag vielleicht den Kopf schütteln über solch eine Welt, die unaufhaltsam ihrem Ende entgegeneilt, und mit Mephistopheles im Faust ausrufen:

„Alles, was entsteht,
Ist werth, dass es zu Grunde geht;
D'rum besser wär's, dass nichts entstünde.“

Wer jedoch an eine Welt des Geistes glaubt, die sich auf Erden wohl in den Schranken des Körperlichen bewegt, aber durchaus nicht mit demselben steht und fällt, dem wird die Lösung des grossen Räthsels der Weltbestimmung zwar ebenfalls unmöglich sein; die Bestimmung des Menschen hingegen wird ihm um so klarer vorschweben. Er wird sich sagen: Wenn dereinst die Erde das liebliche Gewand, in welches sie sich jetzt noch hüllt, abgelegt hat und eine leblose Schlacke geworden ist, dann hat sie, soweit wir es zu beurtheilen vermögen, wenigstens dem herrlichen Zwecke gedient, eine Entwicklungsstätte zu sein für Geister, deren Leben ein ewiges ist. Wo dieses Leben stattfindet, das ist und bleibt uns Staubgeborenen verhüllt, so lange wir uns hier auf dem grossen Schauplatz der Ver-

[1]) Die Sonne. Uebersetzt von H. Schellen. Braunschweig 1872. S. 609.

gänglichkeit bewegen. Aber die Thatsache desselben steht uns ebenso fest, als es neben der sinnlichen Welt noch eine Welt des Geistes giebt, die nicht wie jene ein Trümmerhaufen werden kann. In diesem Sinne stimmen wir mit vollem Herzen den Worten bei, welche Secchi den oben angeführten unmittelbar folgen lässt: „Die wahre Wissenschaft wie die wahre Philosophie giebt uns stets mehr, als sie uns nimmt, und wenn wir von Welten sprechen, deren Herzschlag einst stille stehen wird, so zeigt sie uns zugleich, dass die Kräfte, welche ihnen alle ihre Lebens- und Entwicklungsfähigkeit gegeben haben, nicht in das Nichts zurückgeführt werden können. In der Natur kann nichts verloren gehen, und aus dem Tode muss überall neues Leben erwachsen."

Ebenso wie wir ein Ende fordern, postuliren wir einen Anfang. Für das organische Leben ist derselbe leicht nachzuweisen, da dasselbe an Temperaturen zwischen dem Gefrier- und Siedepunkte gebunden ist. War also die Erde jemals ein glühender Ball, dann hat das organische Leben erst bei beträchtlich vorgeschrittener Erkaltung einen Anfang genommen. Und selbst wenn die Erde einst aus Stoffen hervorgegangen sein sollte, welche ursprünglich niedrige Temperaturen besassen, so musste sich immer erst der Erdkörper bilden, ehe sich das organische Leben auf seiner Oberfläche entfalten konnte.

Aber wir dürfen noch weiter gehen und auch für die Körperwelt überhaupt einen Anfang annehmen. Adolf Fick in Würzburg hat darüber geäussert[1]: „Der finale Zustand (nämlich das Verschwinden der lebendigen Kraft, d. i. der Tod) ist einer ewigen Fortdauer fähig, würde aber nach Verfluss einer endlichen Zeit nahezu erreicht werden, von jedem beliebig gewählten Anfangszustande an gerechnet, der nicht unendliche Geschwindigkeiten oder unendliche Zerstreuung der Materie im Raume einschliesst, d. h. von jedem Anfangszustande an gerechnet, der überhaupt gedacht werden kann. Es müsste also umgekehrt der finale Zustand jetzt schon erreicht sein, wenn die Welt von Ewigkeit her da wäre. Wir sehen uns somit vor folgende bedeutsame Alternative gestellt: entweder sind bei den höchsten allgemeinsten und fundamentalsten Abstractionen der Naturwissenschaft wesentliche Punkte übersehen oder — wenn diese Abstractionen vollkommen streng und allgemein gültig sind — dann kann die Welt nicht von Ewigkeit her da sein, sondern sie muss in einem von heute nicht unendlich entfernten Zeitpunkte durch ein in der Kette des natürlichen Causalnexus nicht begriffenes Ereigniss, d. h. durch einen Schöpfungsact entstanden sein."

[1]) A. Fick, Die Naturkräfte in ihrer Wechselbeziehung. 6 Vorträge. Würzburg 1869. S. 70.

Wir haben in dem Vorhergehenden für die Körperwelt Anfang und Ende nachzuweisen gesucht. Nun könnte man uns einwenden: Die Kräfte mögen eine zeitliche Begrenzung erleiden; doch gilt dies nicht von den Stoffen, die ja unzerstörbar sind. Es ist hierauf zu erwidern: Wir können uns nicht anders denken, als dass mit der Manigfaltigkeit der Stoffe auch die der ihnen innewohnenden Kräfte unmittelbar gegeben war, und müssen demnach für die Existenz des Stoffes genau denselben Anfang fordern wie für die Kräfte. Sind die letzteren, wie oben gezeigt wurde, erst in der Zeit in Action getreten, so können wir auch den Stoffen keinen ewigen Bestand zuschreiben. Ueberdies sind wir hier, wo wir von Stoffen reden, bereits an der Grenze unseres Erkennens angelangt; denn es sind uns nicht bloss die Eigenthümlichkeiten ihres Wesens verhüllt, sondern es fehlt uns auch jeder sinnliche Beweis dafür, dass es überhaupt Stoffe giebt. Sinnliche Erfahrungen besitzen wir nur von den Kräften. Wenn wir sehen oder fühlen, so kommen uns die Erregungen der Seh- oder Gefühlsnerven zum Bewusstsein, also Kräfte, aber niemals Stoffe. Wir sagen: Der Baum ist grün, dürften aber eigentlich nur sprechen: Der Baum reflectirt grünes Licht. Welche Farbe, welche Beschaffenheit er in Wirklichkeit hat, können wir gar nicht beurtheilen. Das „Ding an sich", wie Kant es nennt, bleibt unserer Erkenntniss stets verborgen. Die Annahme von Stoffen hat demnach nur einen hypothetischen Werth; die Stoffe sind Hieroglyphen, mit deren Hilfe wir uns über die Erscheinungen der Natur verständigen.

Ist es uns in dem Vorhergehenden gelungen, den Nachweis einer zeitlichen Begrenzung der Körperwelt zu führen, so werden wir die Gegenstände der Erdkunde nun mit ganz anderen Augen betrachten. Wir werden uns vor der irrigen Anschauung hüten, dass die Erdkunde es nur mit dem Beharrlichen, dem Starren, dem mathematisch Fixirten zu thun hätte. Wir werden vielmehr immer bedenken, dass in Wahrheit alles veränderlich und vergänglich ist, dass überall ein Entfalten stattfindet, ein Fortschreiten zu Zuständen, die andere frühere Zustände voraussetzen, schliesslich aber ein Altern und Vergehen.

III. Die Sonne.

Haben wir uns in dem Vorhergehenden im weiten Universum orientirt und ihm räumliche wie zeitliche Schranken zuerkannt, so wenden wir uns nun der Betrachtung desjenigen Gestirnes zu, das nicht bloss als Centralkörper unseres Weltsystems von der höchsten Bedeutung ist, sondern noch viel mehr als die Quelle der Licht- und Wärmekräfte, welche sich, einem Strome gleich, alltäglich über die Erde ausbreiten und das Getriebe irdischer Thätigkeiten unausgesetzt in Bewegung erhalten. Dieses Gestirn ist die Sonne.

Bis zur Erfindung des Spectroskops waren unsere Kenntnisse über die physischen Zustände der Sonne ausserordentlich gering; mit Hilfe dieses Instrumentes aber, das unser Auge — wenn wir so sagen dürfen — befähigt, chemisch zu sehen, haben wir in den letzten Jahrzehnten wichtige Aufschlüsse über das Wesen ferner Himmelskörper und auch der Sonne erhalten.

Secchi's Untersuchungen[1]) haben ergeben, dass sich die Spectra der Fixsterne auf drei Haupttypen zurückführen lassen (ein vierter Typus, den nur sehr wenige kleine, fast blutrothe Sterne bilden, kann bei den nachfolgenden Betrachtungen ausgeschlossen bleiben).

Die dem ersten Typus angehörenden Fixsterne, wie Sirius, Wega, Altair, Regulus, Rigel, die Sterne des grossen Bären (ausser α) u. a., haben ein weisses Licht mit mehr oder weniger bläulicher Färbung. Neben zahlreichen feinen Absorptionslinien enthält ihr Spectrum — und das ist das Charakteristische an demselben — meist vier starke Streifen und zwar diejenigen, welche das Spectrum des irdischen Wasserstoffgases zeigt, wenn man es in einer Geissler'schen Röhre einer hohen Temperatur aussetzt.

Der zweite Typus umfasst diejenigen Sterne, deren Licht

[1]) A. Secchi, Le Stelle. Milano 1877. p. 85 sq. A. Secchi, Die Sonne. Uebersetzt von H. Schellen. Braunschweig 1872. S. 769 ff.

einen gelblichen Grundton hat, wie Capella, Pollux, Arcturus, Aldebaran u. a. Ihr Spectrum gleicht vollkommen dem unserer Sonne; denn es ist von ausserordentlich vielen, aber feinen Absorptionslinien durchzogen, welche hinsichtlich ihrer Lage genau denjenigen des Sonnenspectrums entsprechen. Demnach haben die Sterne des zweiten Typus dieselbe stoffliche Zusammensetzung und sonstige physische Beschaffenheit wie unsere Sonne.

Die Sterne des dritten Typus besitzen ein weniger lebhaftes, mehr in's Röthliche spielendes Licht. Vertreter dieses Typus sind α Herculis, β Pegasi, α Orionis u. a. Das Spectrum derselben besteht aus verwaschenen Streifen, sowie dunklen und hellen Linien, welche zu breiten Bändern vereinigt sind. Es ist also demjenigen ähnlich, welches die Sonnenflecken geben, woraus wir schliessen dürfen, dass die Sterne des dritten Typus ihre charakteristischen Streifen einer ähnlichen Absorptionswirkung verdanken, wie sie von den Wolken über den Sonnenflecken ausgeübt wird.

Zu dem ersten Typus gehört etwa die Hälfte der bis jetzt untersuchten Sterne; zwei Drittel der anderen Hälfte sind zu den gelben Sternen des zweiten Typus zu rechnen; die übrigen zählen zu dem dritten Typus, nämlich zu den röthlichen Sternen, den „channelled spaced stars“ der Engländer.

Ohne Zweifel gründet sich jene typische Verschiedenheit der Spectra auf gewisse Gegensätze, welche die physischen Zustände der Fixsterne darbieten. Da den Sternen des ersten Typus das intensivste Licht zukommt, so dürfen wir ihnen auch die höchsten Temperaturen zuschreiben. Diese aber entwickeln mehr zerstreuende („dissociating“), d. h. atom-trennende Kräfte als geringere Wärmegrade. Bei den höchsten Temperaturen werden sich daher nicht, wie auf Erden, 64 Elemente individualisiren, sondern nur wenige und zwar nach Lockyer's Beobachtungen nur diejenigen, deren Atomgewicht ein sehr geringes ist. Somit werden auch nur wenige (unter ihnen vor allem Wasserstoff) spectroskopisch sichtbar.

Die Sterne der zweiten Gruppe besitzen noch genug Weissglühhitze, chemische Verbindungen zu verhindern; doch wird die Zahl der dämpfebildenden Elemente bereits grösser, und damit vermehrt sich die Menge der Absorptionslinien im Spectrum. Die Wasserstofflinien treten weniger hervor; ausserordentlich zahlreich sind feine, metallische Linien.

Die Sterne der dritten Gruppe hingegen müssen bereits dem Abkühlungsprocess verfallen sein, da jene Bänder auf eine starke Verdichtung der Atmosphäre, auf die Bildung metalloidischer Dämpfe

und chemischer Verbindungen hinweisen, also auf Umstände, die sich nur durch ansehnliche Temperaturabnahme erklären lassen[1]).

Erwägen wir nun, dass die Sonne nicht dem ersten, sondern dem mittleren jener drei Typen angehört, so liegt die Vermuthung nahe, dass sie bereits über das Jugendalter ihrer Entwicklung hinaus ist, dass die Sonne in einer früheren Epoche stärker erhitzt war, dass sie ehemals etwa dieselbe physische Constitution besass wie Sirius, somit ein weisses oder bläuliches Licht aussandte, d. h. ein Licht, dessen Strahlen an dem blauen Ende des Spectrums kräftiger wirkten als gegenwärtig. Auch sind wir zu der Annahme berechtigt, dass die Strahlen an dem blauen Ende sich in Zukunft immer weniger wirksam erweisen und dass die Sonne endlich einmal die Merkmale jener Sterne annimmt, welche zu dem dritten Typus zählen.

Dafür, dass die Sonne wirklich altert, haben wir noch ein anderes beweiskräftiges Zeugniss: diess sind die Sonnenflecken. Wir gehen in dem Folgenden näher auf dieses Phänomen ein, wobei wir zugleich Gelegenheit finden werden, die physischen Zustände auf der Sonnenoberfläche zu besprechen.

Wahrscheinlich hatten schon im Alterthum einzelne Beobachter Kenntniss von dem Auftreten dunkler Flecken an der Sonnenoberfläche. Anaxagoras (geb. 499 v. Chr.) wurde von den demagogischen Frömmlern Athen's als Gottesleugner verklagt und in den Kerker geworfen, weil er die göttlich verehrte Sonne mit einem glühenden Meteorstein verglichen hatte[2]). Da Sonnenflecken wiederholt mit blossen Augen gesehen worden sind, so ist es nicht ganz unmöglich, dass er durch die Wahrnehmung von dunklen Stellen auf der Sonnenscheibe zu dieser Ueberzeugung gelangt war; einer Sonne mit Flecken aber konnte die Würde einer Gottheit nicht verbleiben.

Die Incas von Peru glaubten, dass die Sonne ein Gott und dass sie zugleich der Ahnherr ihres Hauses sei. Aber auch unter ihnen regten sich zur Zeit der spanischen Invasion ketzerische Gedanken. Der vorletzte der regierenden Monarchen, Huayna Capac († 1525), zweifelte sehr stark an der Göttlichkeit seines Ascendenten; denn nach dem Einerlei ihrer Bewegung, meinte er, gleiche die Sonne einem Thiere, welches, an ein Seil gebunden, immer denselben Umlauf mache.

[1]) Vgl. J. Norman Lockyer über „Celestial Chemistry“ in Nature, Vol. IX, Nr. 231. 2. April 1874, p. 430 sq. und M. Wurtz (Eröffnungsrede, gehalten bei der Zusammenkunft der französ. Association in Lille am 20. Aug. 1874) in Nature, Vol. X, Nr. 252. 27. August 1874, p. 350.

[2]) O. Peschel, Geschichte der Erdkunde. 2. Aufl. (herausgegeben von S. Ruge). München 1877. S. 33.

Wäre sie ein freies Wesen, so käme sie gewiss auch in solche Himmelstheile, wo wir sie nie sehen. Auch könne sie nicht die Urheberin alles dessen sein, was geschieht, da sie ja des Nachts abwesend sei[1]). Solche ehrenrührige Dinge äusserte ein Inca in Peru über die oberste Gottheit seines Reiches, deren ungetrübte Reinheit ihm vielleicht ebenfalls zweifelhaft geworden war[2]). Hätten die Spanier damals schon einem dieser gekrönten Kinder der Sonne das photographische Facsimile eines Sonnenfleckens mit den Nasmyth'schen „Weidenblättern" vorlegen können, dem Inca wäre gewiss bange geworden beim Anblick seines Grossvaters.

Zuweilen sind, wie schon erwähnt, die Flecken so gross, dass sie auch dem unbewaffneten Auge sichtbar werden. Galilei berichtet in einem Briefe vom Monat August 1612, dass er und viele seiner Freunde ohne Vermittelung eines Teleskops an drei auf einander folgenden Tagen einen Sonnenfleck bemerkt hätten. Ebenso wurden in den Jahren 1764, 1769, 1779, 1828, 1853 grosse Flecken ohne Fernrohr wahrgenommen, und die Zahl solcher Beispiele liesse sich noch beträchtlich vermehren.

Als der eigentliche Entdecker der Sonnenflecken gilt der Ostfriese Johann Fabricius, der sie im Jahre 1611 beschrieb[3]). Erst ein Jahr später verfasste Galilei seine Abhandlung über diese wichtige Erscheinung. Immerhin konnte 10 bis 20 Jahre darauf Jean Tarde, Canonicus von Sarlat, noch nicht an die Möglichkeit glauben, dass die Sonne, das Auge der Welt, die Ophthalmie haben könne. Er hielt jene Flecken für kleine Planeten und nannte sie Sidera Borbonia, während ihnen ein belgischer Jesuit, Malapert, den Namen Sidera Austriaca beilegte[4]).

Lange Zeit blieben die Sonnenflecken unerklärbar; sie erschienen als geisterhafte Schatten, welche über die Sonnenscheibe hinweg schwebten, und so versuchte noch im vorigen Jahrhundert Rev. Tobias Swinden in einer Schrift, die sogar in's Französische und Deutsche übersetzt wurde, den Beweis zu liefern, dass die Sonne die

[1]) A. v. Humboldt, Ansichten der Natur. 3. Aufl. Stuttgart 1849. Bd. II, S. 384. 385. E. B. Tylor, Forschungen über die Urgeschichte der Menschheit und die Entwicklung der Civilisation. Leipzig (ohne Jahreszahl). S. 443.

[2]) A. v. Humboldt, Kosmos. Bd. III, S. 408. Rudolf Wolf, Geschichte der Astronomie. München 1877. S. 178.

[3]) Joh. Fabricius, Narratio de maculis in Sole observatis et apparente earum cum Sole conversione. Witebergae 1611.

[4]) A. v. Humboldt, Kosmos. Bd. III, S. 383.

Hölle sei und ihre Flecken nichts anderes als Zusammenrottungen der schwarzen Seelen der Verdammten [1]).

Die Sonnenflecken sind zunächst insofern wichtig geworden, als sie uns gelehrt haben, dass die Sonne eine Rotation besitzt und in welcher Zeit sie dieselbe vollendet.

Die Flecken werden im allgemeinen zuerst am östlichen Rande der Sonne sichtbar, ziehen, meist ohne ihre äquatoriale Breite wesentlich zu verändern, über die Sonnenscheibe und verschwinden wieder am westlichen Rande derselben. Eine grosse Anzahl fristet nur ein kurzes Dasein. Einige werden gebildet und vergehen, ehe sie noch einen einzigen Weg über die Scheibe vollendet haben; solche sind meist klein und unbedeutend. Häufig machen sie eine oder zwei Revolutionen und werden bei ihrem Wiedererscheinen erkannt an ihrer Entfernung vom Aequator, ihrer Stellung zu einander, ihrer Grösse oder irgend welcher Eigenthümlichkeit; auch der Zeitraum zwischen ihrem Verschwinden an dem einen Rand und Wiederauftauchen an dem anderen gewährt uns ein Mittel zur Beurtheilung ihrer Identität. Selten wurde eine grössere Anzahl von Revolutionen beobachtet. Der grosse Fleck von 1779 war (natürlich mit Intervallen) ein halbes Jahr lang sichtbar, und Schwabe sah im Jahre 1840 eine und dieselbe Fleckengruppe 8 mal wiederkehren [2]).

Schon die ersten Beobachter der Flecken fanden, dass der Riesenball der Sonne, dessen Durchmesser 108 mal so gross ist als der unseres Planeten und dessen Rauminhalt den der Erde um das 1 259 712-fache übertrifft, in ungefähr 25 Tagen eine Rotation vollendet. Spörer bestimmte nach seinen höchst sorgfältig angestellten Beobachtungen die Rotationsdauer der Sonne zu 25 Tagen 5 Stunden 38 Minuten und den Winkel, welchen der Sonnenäquator mit der Ekliptik macht, zu 6^0 57′.

Derartige Berechnungen liefern freilich immer nur annähernd richtige Mittelwerthe. Sehr störend dabei ist, dass die Geschwindigkeit der Flecken nicht genau der Rotation des Sonnenkörpers entspricht, sondern dass sie nebenbei noch eine eigene Bewegung haben, die bald grösser, bald kleiner ist. Namentlich hat sich ergeben, dass die dem Sonnenäquator näheren Flecken eine kürzere Rotationsdauer anzeigen als die entfernteren. Ferner haben Carrington und Spörer gefunden, dass die in höheren Breiten der Sonnenkugel (zwischen dem 20. und 40. Grad) liegenden Flecken polwärts vorrücken, während sie sich gleichzeitig mit dem Sonnenkörper um dessen Axe bewegen.

[1]) E. B. Tylor, Die Anfänge der Cultur. Leipzig 1873. Bd. II, S. 69 f.

[2]) Sir John F. W. Herschel, Outlines of Astronomy. New edition. London 1875. §. 394, p. 252.

Zwischen dem 10. und 20. Parallelkreise findet eine augenscheinlich sehr kleine Strömung nach dem Aequator hin statt; zu beiden Seiten des Aequators bis zum 10. Parallelkreise lässt sich dieselbe nicht mit Gewissheit constatiren [1]).

Seit dem Jahre 1826 hat sich Schwabe in Dessau auf das sorgfältigste mit der Beobachtung der Flecken beschäftigt. An jedem Tage, an welchem die Sonne sichtbar war, zählte er die Flecken und Trübungen auf ihrer Scheibe. Dabei fand er, dass in etwa 10 Jahren die Sonnenoberfläche durch einen vollständigen Cyklus von Veränderungen hindurch geht, von einem Stadium höchster Prävalenz der Sonnenflecken zu einem Stadium fast gänzlichen Mangels derselben und zurück zum Maximum davon. Rudolf Wolf aber hat nachgewiesen [2]), dass auch in den zwei Jahrhunderten zwischen Fabricius, dem Entdecker der Sonnenflecken, und Schwabe eine periodische Zu- und Abnahme der Sonnenflecken stattgefunden habe, dass aber die Periode nicht einen Zeitraum von 10, sondern von 11 1/9 Jahren umfasse. Uebrigens sind die einzelnen Perioden nicht von genau derselben Länge; auch hat sich gezeigt, dass die Zeit von einem Minimum bis zum nächsten Maximum regelmässig kleiner ist als von diesem Maximum bis zum nächsten Minimum.

Bemerkenswerth ist noch, dass die höchste Frequenz der Sonnenflecken immer gleichzeitig eintritt mit der höchsten Frequenz der kleinen Cometen (s. Abschn. „Cometen“), der Nordlichter, der Cirruswolken und der magnetischen Störungen. Ohnehin folgt die Stellung der Magnetnadel dem Gange der Sonne bei ihrem Tages- und Nachtbogen; die täglichen Schwankungen aber sind stets grösser, wenn die Sonnenscheibe befleckt, als wenn sie rein ist. Die Veränderungen in dem physischen Zustande der Sonne finden also ihr Echo in den Bewegungen unserer Magnetnadeln [3]). Die Gleichzeitigkeit reichlicher und geringer Niederschlagsmengen mit dem Maximum und Minimum der Sonnenflecken, woraus G. M. Dawson die angeblich den Fleckenperioden folgenden Spiegelschwankungen der grossen canadischen Seen ableitet, scheint uns noch nicht hinreichend erwiesen zu sein. Die Curven, welche die Frequenz der Sonnenflecken und die Fluctuationen des Erie-Sees von 1790 bis 1870 darstellen, zeigen nur eine mangelhafte Symmetrie [4]).

[1]) A. Secchi, Die Sonne. S. 135 f.

[2]) Neue Untersuchungen über die Periode der Sonnenflecken. Bern 1852.

[3]) Näheres hierüber enthält der Abschnitt über Erdmagnetismus.

[4]) G. M. Dawson: „The fluctuations of the American lakes and the development of sun-spots“ — in Nature, Vol. IX, Nr. 235. 30. April 1874, p. 50—4506.

Die meisten Sonnenflecken bestehen aus einem schwarzen Kern (Umbra) und einem ihn allseitig umgebenden Halbschatten, der Penumbra. Kernfleck sowohl wie Penumbra zeigen fast immer scharfe, eingerissen eckige, durch einspringende Winkel charakterisirte Grenzlinien. Die dunkleren Ränder der Penumbra nach aussen, also nach dem Lichtmantel der Sonne hin, sind wohl nur eine Folge des scharfen optischen Contrastes.

Lange Zeit stritt man sich darüber, ob die Flecken Erhöhungen oder Vertiefungen auf der Sonnenoberfläche bezeichneten. Schon Galilei hatte geäussert, dass, wenn zwei Sonnenflecken neben einander stehen und durch eine Lichtbrücke getrennt werden, dieser Isthmus bei der Bewegung vom Mittelpunkt nach dem Rande der Sonne schmaler werden, ja gänzlich verschwinden müsste, wenn die Flecken der Sonne Anschwellungen des Lichtmantels wären. Da jenes nicht der Fall ist, so schloss er, dass die Flecken Vertiefungen seien.

Fig. 12.



Namentlich war es Alexander Wilson in Glasgow, welcher für die Sonnenflecken die Gestalt trichterförmiger Einsenkungen forderte [1]). Er beobachtete im November 1769 den Lauf und die Veränderungen eines grossen Fleckens und bemerkte dabei, dass, als derselbe in der Mitte der Sonnenscheibe stand, die Penumbra den schwarzen Kern nach allen Seiten hin gleichmässig umgab, dass hingegen, als sich der Fleck dem Sonnenrande näherte, der dem Centrum zugewandte Theil der Penumbra, sowie der benachbarte Theil des schwarzen Kernes allmählich verschwand. Figur 12 erläutert diesen Vorgang. Bei 3 und 4 ist bereits der eine Rand der Penumbra, bei 5 auch der Kern des Fleckens selbst nicht mehr sichtbar.

Diese Veränderungen liessen sich durch die Regeln der Perspective leicht erklären, indem man annahm, der Kern befinde sich in beträchtlicher Tiefe unter der Oberfläche der Sonne und die Penumbra bilde die unregelmässigen Seiten einer tiefen Höhle, die sich allmählich

[1]) Seine Beobachtungen finden sich in den Philosophical Transactions of the R. Soc. of London. Vol. LXIV (1774), p. 6 sq.

nach dem Kern hinabneige. Sah man senkrecht in den Trichter hinein, so war der Kernfleck von einem gleich breiten Schattensaum links und rechts, oben und unten umgeben; bewegte sich der Fleck hierauf nach dem westlichen Rande der Sonne, so blieb die westliche Trichterwand fast so breit, wie sie war; die östliche aber wurde mehr und mehr verdeckt, wie es die Gesetze der Perspective verlangen. Nach Wilson sind also die Flecken trichterförmige Oeffnungen in der Lichthülle der Sonne, durch welche hindurch man den dunklen Sonnenkörper (d. i. den Kern des Fleckens) sieht [1]).

Noch müssen wir hinzufügen, dass die Sonnenflecken nicht immer das eben beschriebene, sogenannte Wilson'sche Phänomen zeigen, dass nicht selten vielmehr jener aschefarbige Rand der Flecken über die ganze Sonnenscheibe hinwegzieht, ohne irgend welche Schmälerung zu erfahren. Unter den neueren Astronomen hat Warren De la Rue diesem Umstand besondere Aufmerksamkeit gewidmet und ist hierbei zu dem Resultate gelangt, dass unter 89 Erscheinungen von Sonnenflecken 72 die Lehre Wilson's bestätigen, 17 ihr widersprechen. Dieses Verhältniss hat nichts Ueberraschendes, wenn man bedenkt, wie oft die Flecken ihre Form wirklich verändern. De la Rue hat übrigens ein sehr einfaches Mittel gefunden, um zu zeigen, dass die Flecken wirkliche Höhlungen in der Sonnenoberfläche sind. Man legt zwei photographische Sonnenbilder, welche an zwei um etwa 15 Grad von einander entfernten Punkten aufgenommen worden sind, in ein Stereoskop; die Flecken erscheinen dann vollständig als Höhlungen, in deren Tiefe man hinabblickt [2]).

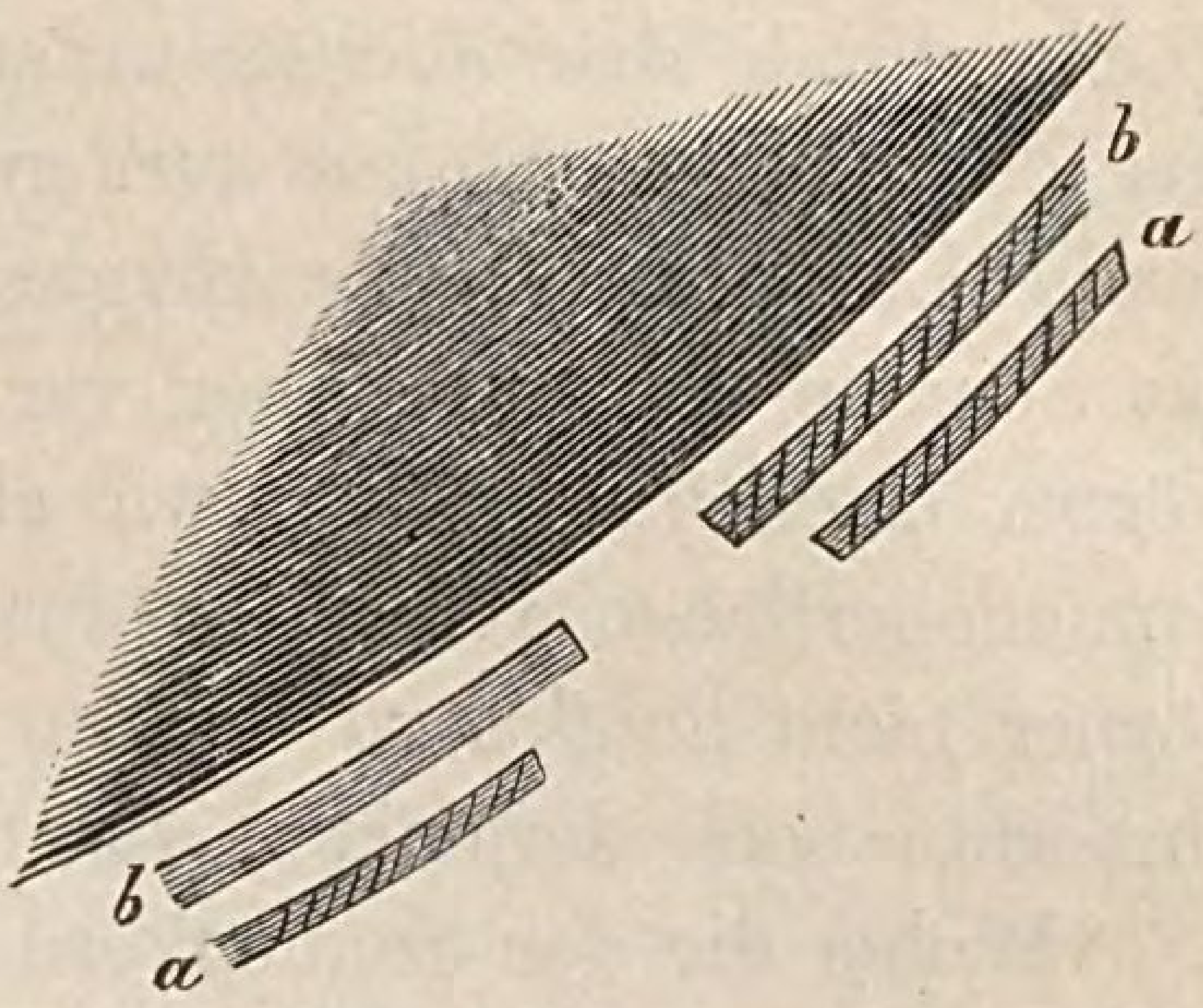
Der umfangreiche, mit blossem Auge sichtbare Fleck, welcher im Jahre 1779 erschien und 6 Monate hindurch beobachtet werden konnte, war die Veranlassung, dass Sir William Herschel die Sonnenflecken zum Gegenstand einer gründlichen Untersuchung machte. Er richtete sein Riesenteleskop nach jenem Phänomen und bestätigte Wilson's Ansicht über die Höhlennatur der Flecken. Auf die angeführte Erscheinung gründete sich seine durch den grossen Namen besiegelte und daher bis nach A. v. Humboldt's Tod allgemein anerkannte Hypothese über die physische Beschaffenheit der Sonne.

[1]) Dominicus Cassini war jedenfalls der erste, welcher — bereits um das Jahr 1671 — die Vermuthung aussprach, dass ein Lichtocean den dunklen Sonnenkörper umgiebt und dass jene Lichthülle, durch gewaltsame Aufwallungen zerrissen, von Zeit zu Zeit die Berggipfel des lichtlosen Sonnenkörpers entblösst. Das, meinte er, seien die schwarzen Kerne im Centrum der Sonnenflecken. A. v. Humboldt, Kosmos. Bd. III, S. 383. 384.

[2]) Secchi, l. c. S. 71 f.

Sir William Herschel nahm an, dass der Sonnenkörper dunkel sei und von zwei Wolkenhüllen umgeben werde. Die obere von beiden, *a* (Fig. 13), ist selbstleuchtend, die untere hingegen, *b*, aus dunklen Wolken gebildet, welche nur einen relativ matten Schein von sich geben, indem sie das Licht der über ihnen lagernden Wolken reflectiren. Die unteren Wolken nannte er „planetarische", um ihre angenommene Aehnlichkeit mit den irdischen Wolken zu bezeichnen. Bricht nun die Photosphäre an irgend einer Stelle auf, so kommt zuerst die zwar nicht selbst leuchtende, wohl aber lichtreflectirende Dunstmasse als aschefarbige Penumbra zum Vorschein. Wird aber an einer Stelle das innere Wolkenlager zugleich mit dem äusseren entfernt, so sehen wir die dunkle Oberfläche der Sonne als einen schwarzen Fleck, und falls die Oeffnung in der äusseren Schicht grösser als die in der inneren ist, erscheint der schwarze Fleck von einem nebeligen, peripherischen Kranze umgeben, der alle die Merkmale und wechselnden Eigenthümlichkeiten besitzt, die Wilson beobachtete. Da man späterhin, namentlich bei Sonnenfinsternissen, wiederholt rosenfarbige Auswüchse (Protuberanzen) an der Sonnenoberfläche erblickte, so nahm man sogar noch eine dritte, ausserhalb der Photosphäre liegende, aus den zartesten Wolkengebilden bestehende Umhüllung an: die Protuberanzenhülle.

Fig. 13.



Die Herschel'sche Anschauung blieb nicht unangefochten. Besonders wurde gegen sie geltend gemacht, dass der Sonnenkörper unmöglich eine schwarze, also erkaltete Masse sein könne, so lange er von einer glühenden Atmosphäre umgeben sei. Diese müsse den Sonnenball selbst bis zur Weissgluth erhitzen, da sie ihm beständig grosse Wärmemengen zusende, dieser aber durch Photosphäre und Dunsthülle vor rascher Erkaltung geschützt sei und höchstens bei Fleckenbildung, wenn also jene Hüllen zerreissen, grössere Wärmeverluste erleide.

Diesen Einwurf lässt Sir John Herschel nicht gelten. Er hält das Gegentheil für recht wohl möglich und spricht dies in den Worten aus: „Eine vollkommen reflectirende Dunsthülle würde den Sonnenkörper wirksam schützen gegen die Wärmestrahlung der über jenem Dunstkreise schwebenden Photosphäre." (A perfectly

reflective canopy would effectually defend it (the sun) from the radiation of the luminous regions above its atmosphere [1]). Freilich ist nach dem jetzigen Stande der Naturwissenschaften ein „perfectly reflective canopy“ kaum denkbar und lässt sich am allerwenigsten für den vorliegenden Fall nachweisen.

Uebrigens gab man späterhin zu, dass der Sonnenkörper möglicher Weise in einem glühenden Zustand sich befinden könne und erklärte sich die gänzliche Lichtlosigkeit der Sonnenflecken in ihrem inneren Theile durch den Lichtcontrast. Eine solche Erklärung wird durchaus als zulässig erkannt werden, wenn wir hinzufügen, dass das blendende Licht der Hydrooxygengasflamme 146 mal schwächer ist als das Sonnenlicht und daher vor der Sonnenscheibe wie ein schwarzer Körper erscheint. Wenn wir also von schwarzen Kernflecken auf der Sonnenoberfläche reden, so brauchen wir uns deswegen den Sonnenkörper nicht lichtlos zu denken, sondern dürfen seine Lichtintensität immerhin noch derjenigen der Hydrooxygengasflamme gleichstellen.

Woher die den Sonnenkern frei umschwebende Photosphäre komme und woher sie beständig den unermesslichen Schatz von Licht- und Wärmekräften empfange: diese Fragen wurden damals noch gar nicht aufgeworfen; denn das Gesetz von der Erhaltung der Kraft war noch nicht entdeckt.

Unhaltbar wurde Herschel's Hypothese, nachdem G. Kirchhoff seine berühmten spectralanalytischen Entdeckungen gemacht hatte [2]).

Fällt ein von einem weissglühenden festen oder flüssigen Körper ausgehender Lichtstrahl durch einen Spalt auf ein Glasprisma, so wird, wie bereits früher bemerkt, der Strahl fächerförmig ausgebreitet und liefert ein continuirliches, aus den bekannten Regenbogenfarben bestehendes Farbenbild (Spectrum), während ein im Gaszustand glühender Stoff ein aus isolirten hellen Linien zusammengesetztes Spectrum hervorruft. Wird aber — und dies ist Kirchhoff's bedeutende Entdeckung — der von einem weissglühenden festen oder flüssigen Körper ausgesandte Strahl noch durch einen gasförmig glühenden Stoff geleitet, so erscheint uns das continuirliche Spectrum von schwarzen Linien durchschnitten, und zwar zeigen sich diese genau an denjenigen Stellen des Spectrums, wo das glühende Gas ohne den weissglühenden Hintergrund eine oder mehrere helle Linien erzeugt hätte. So giebt das Drummond'sche

[1]) Outlines of Astronomy. New edition. London 1875. §. 396, p. 258..

[2]) Die Darlegung seiner Theorie über die physische Beschaffenheit der Sonne enthält der Aufsatz: „Untersuchungen über das Sonnenspectrum und die Spectren der chemischen Elemente“ in den Abhandlungen der Kgl. Akademie d. W. zu Berlin v. J. 1861, S. 63—95.

Kalklicht, durch ein Prisma zerlegt, ein continuirliches Spectrum. Wird es hingegen noch durch eine mit Natriumdämpfen erfüllte Flamme geführt, so befindet sich in seinem Spectrum eine schwarze Linie und zwar genau an derjenigen Stelle, wo das Licht der Natriumflamme allein eine gelbe Linie hervorgerufen hätte. Da nun jedes glühende Gas seine eigenen Spectrallinien besitzt, so verrathen uns jene dunklen Linien in einem continuirlichen Spectrum, dass und durch welche glühenden Gase ein von einem festen oder flüssigen weissglühenden Körper ausgegangener Lichtstrahl seinen Weg genommen hat.

Nun erkennen wir, wie es möglich ist, aus der Beschaffenheit des Sonnenspectrums ein Urtheil über die physischen Zustände auf der Sonnenoberfläche abzuleiten.

Da das Sonnenspectrum keineswegs ein continuirliches ist, sondern von zahlreichen dunklen Linien, den sogenannten Fraunhofer'schen Linien, durchschnitten wird, so durfte man vor allen Dingen ein Zweifaches annehmen: 1) dass die Sonnenstrahlen nicht von einer glühenden Lufthülle (Photosphäre) ausgehen, sondern von dem weissglühenden, in festem oder flüssigem Aggregatzustande sich befindenden Sonnenkörper; 2) dass derselbe von einer glühenden Gashülle umgeben ist, welche von zahlreichen, ebenfalls in gasförmigen Zustand aufgelösten Elementen durchdrungen ist.

Die Fraunhofer'schen Linien gestatten uns ferner, diese Elemente näher zu bestimmen. Es werden nämlich alle diejenigen Stoffe im gasförmigen Zustande die Sonnenatmosphäre erfüllen, deren Flammenspectra genau dieselben bunten Linien liefern, die uns im Sonnenspectrum als dunkle Linien erscheinen. Diese lezteren belehren uns nicht nur über die Qualität der Dämpfe, durch welche sie erzeugt werden, sondern auch über ihre Quantität; denn in je reicherem Masse gewisse Stoffe in der Sonnenatmosphäre vorkommen, um so stärker sind die ihnen entsprechenden dunklen Linien.

Die spectralanalytischen Untersuchungen des Sonnenlichtes haben bisher zu folgenden Ergebnissen geführt:

Die Elemente, aus denen sich die Sonnenatmosphäre zusammensetzt, sind nicht gleichmässig in derselben vertheilt, sondern erheben sich, je leichter und flüssiger sie sind, zu um so bedeutenderen Höhen. Die äusserste Umhüllung der Sonne bildet ein auf Erden unbekanntes Element, Helium genannt, welches wahrscheinlich noch leichter als Wasserstoff ist. Darunter schwebt die sogenannte Chromosphäre, welche hauptsächlich aus Wasserstoff besteht, zuweilen aber auch Magnesium und andere Substanzen enthält. Dieser folgt endlich noch weiter abwärts eine bedeutende Schicht von metallischen Dämpfen. Die letztere ist es vorzugsweise, welche die Bildung von dunklen Linien im Sonnen-

spectrum veranlasst. Aus der Stärke derselben geht hervor, dass Calcium in besonders reicher Menge hier vorhanden ist. Ausser den bereits genannten Elementen kommen noch vor: Magnesium, Natrium, Titan, Nickel, Chrom, Eisen, Mangan, Aluminium, Kupfer, Zink, Baryum, Kobalt und wahrscheinlich auch Kalium, Blei, Cer, Uran, Strontium und Kadmium [1]). Hingegen fehlen die Spectrallinien für Gold, Silber, Platin und Quecksilber, woraus wir jedoch nicht schliessen dürfen, dass diese Elemente überhaupt nicht auf der Sonne existiren. Vielleicht finden sich dieselben wegen der grossen Dichtigkeit ihrer Dämpfe nur in den tieferen, der Spectralanalyse nicht zugänglichen Schichten der Sonne. Ebenso vermissen wir die Linien der Metalloide und die, welche chemischen Verbindungen eigen sind. Jene gasige Masse hat demnach eine solche Weissgluth, dass ihr keine chemischen Verbindungen zu widerstehen vermögen [2]).

So wurde der Sonnenoberfläche durch die Spectralanalyse ein ganz anderer Charakter aufgeprägt. Nun galt es, das oben erwähnte Wilson'sche Phänomen im Sinne dieser neuen Entdeckung zu erklären. Kirchhoff selbst hat dies versucht und zwar in folgender Weise [3]):

„In der Atmosphäre der Sonne müssen ähnliche Vorgänge als in der unsrigen stattfinden; locale Temperaturerniedrigungen müssen dort wie hier die Veranlassung zur Bildung von Wolken geben; nur werden die Sonnenwolken ihrer chemischen Beschaffenheit nach von den unsrigen verschieden sein. Wenn eine Wolke dort sich gebildet hat, so werden alle über derselben liegenden Theile der Atmosphäre abgekühlt werden, weil ihnen ein Theil der Wärmestrahlen, welche der glühende Körper der Sonne ihnen vorher zusendete, durch die Wolken entzogen wird. Diese Abkühlung wird um so bedeutender sein, je dichter und grösser die Wolke ist, und dabei erheblicher für diejenigen Punkte, die nahe über der Wolke liegen, als für die höheren. Eine Folge davon muss sein, dass die Wolke mit beschleunigter Geschwindigkeit von oben her anwächst und kälter wird. Ihre Temperatur sinkt unter die Glühhitze; sie wird undurchsichtig und bildet den Kern eines Sonnenfleckens. Aber auch noch in beträchtlicher Höhe über dieser Wolke findet Temperaturerniedrigung statt; sind hier irgendwo durch die Tiefe der schon herrschenden Temperatur oder durch das Zusammentreffen zweier Luftströme die Dämpfe ihrem Condensationspunkte nahe gebracht, so wird diese Temperaturerniedrigung die

[1]) J. Norman Lockyer über „Celestial Chemistry" in Nature, Vol. IX, Nr. 231. 2. April 1874, p. 431 sq.

[2]) Nature, Vol. X. Nr. 252. 27. August 1874, p. 349.

[3]) Kirchhoff, l. c. S. 86 f.

Bildung einer zweiten Wolke bewirken, die weniger dicht ist als jene, weil in der Höhe der geringeren Temperatur wegen die Dichte der vorhandenen Dämpfe kleiner ist als in der Tiefe, und die, theilweise durchsichtig, den Halbschatten bildet, wenn sie eine hinreichende Ausdehnung gewonnen hat."

Jene beiden Wolkenschichten vertreten die zwei Oeffnungen der planetarischen Hülle und der Photosphäre, wie sie Herschel einst angenommen hatte. Stimmen die beiden Wolken in Beziehung auf Dimension und Ort mit den beiden Oeffnungen überein, so beobachtet der irdische Beschauer ein Gebilde, welches ganz dem Wilson'schen Phänomen entspricht.

Unter den neueren Versuchen, die Entstehung und Entwicklung der Sonnenflecken darzulegen, nimmt derjenige F. Zöllner's eine hervorragende Stellung ein, weil er alle mit denselben in Verbindung stehenden Erscheinungen in der einfachsten und ungezwungensten Weise erklärt [1]).

Er geht von den beiden, bereits von Kirchhoff ausgesprochenen Sätzen aus:

„Die wahrscheinlichste Annahme, die man machen kann, ist die, dass die Sonne aus einem festen oder tropfbar-flüssigen, in der höchsten Glühhitze befindlichen Kern besteht, der umgeben ist von einer Atmosphäre von etwas niedrigerer Temperatur."

„Bei der Sonnenatmosphäre sind es Schichten, die in gewisser Höhe über der Oberfläche des Kernes sich befinden, die das Meiste zur Bildung der dunklen Linien des Spectrums beitragen; die untersten Schichten nämlich, die nahe dieselbe Temperatur als der Kern besitzen, verändern das Licht dieses wenig, da sie jedem Lichtstrahle den Verlust an Intensität, den sie durch Absorption herbeiführen, durch ihr eigenes Glühen nahe ersetzen" [2]).

Was den ersten Satz anlangt, so erscheint allerdings nach den neueren Untersuchungen Frankland's und Lockyer's auch die Annahme eines gasförmigen Sonnenkörpers zulässig. Diese nämlich haben ergeben, dass nicht bloss glühende feste oder flüssige Körper, sondern auch glühende Gase unter hohem Druck ein continuirliches Spectrum liefern. Wüllner hat nachgewiesen, dass das Spectrum des

[1]) Die benützten Abhandlungen Zöllner's finden sich in den Berichten d. Kgl. Sächs. Gesellschaft d. W. math.-phys. Classe: Sitzung am 1. Juli 1869, S. 145—148, am 2. Juni 1870, S. 103—123, am 12. December 1870, S. 338—350, am 11. Februar 1871, S. 49—113, am 21. Februar 1873, S. 158—194, am 7. November 1873, S. 505—522; ferner in Poggendorff's Annalen, Bd. CXLII (1871), S. 524—539.

[2]) Abhandlungen d. Kgl. Akademie d. W. zu Berlin 1861, S. 83.

Wasserstoffgases, wenn es unter dem Druck einer Quecksilbersäule von 23 Millimeter Höhe steht, noch aus den drei hellen Linien H_α, H_β und H_γ besteht, dass aber bei zunehmendem Druck die drei Linien sich allmählich zu drei Bändern erweitern, bis endlich unter einem Druck von 1000 Millimetern ein continuirliches Spectrum, bei einem Druck von 1230 Millimetern sogar ein solches von blendendem Farbenglanz sich zeigt[1]). Demnach ist es wahrscheinlich, dass wir für gewöhnlich nicht den Sonnenkörper selbst sehen, sondern diejenige Schicht der ihn umgebenden Wasserstoffatmosphäre, deren Spectrum durch hohen Druck ein continuirliches geworden ist. Somit vermag uns auch das Sonnenspectrum keinen sicheren Aufschluss über den Aggregatzustand der an der Sonnenoberfläche liegenden Schichten zu geben.

Zöllner gelangt durch die Untersuchung der Protuberanzen (Ausbrüche von glühenden Wasserstoffmassen an der Sonnenoberfläche, vgl. S. 74 ff.) zur Annahme einer tropfbar-flüssigen Beschaffenheit der Sonnenoberfläche. Ein grosser Theil der Protuberanzen besitzt nämlich einen scharf ausgeprägten eruptiven Charakter; ihre Entstehung setzt also locale Ansammlungen von Wasserstoffmassen in blasenartigen Hohlräumen voraus. Diese Ansammlungen aber erfordern eine Trennungsschicht, welche den Raum, aus welchem die Eruptionen stattfinden, von demjenigen trennt, in welchen sie sich ergiessen. Sie kann natürlich nicht aus einer gasförmigen Masse bestehen, muss also fest oder flüssig sein. Da wir nun den festen Aggregatzustand mit Rücksicht auf die hohe Temperatur ausschliessen dürfen, so bleibt uns nur die Annahme einer tropfbar-flüssigen Sonnenoberfläche übrig.

Die Richtigkeit des zweiten Kirchhoff'schen Satzes (S. 69) erkennt Zöllner unbedingt an. Vermittelst starker Fernrohre erblickt man auf der Sonnenoberfläche cumulusartige Gebilde von leuchtenden Wolken, die aber, weil sie hoch erhitzt sind, einen so lebhaften Glanz besitzen, dass zwischen ihnen und ihrer Umgebung nur eine äusserst geringe Helligkeitsdifferenz besteht, weshalb sie auch nur sehr schwer wahrnehmbar sind. Aus der Existenz derartiger Wolken — fährt Zöllner im ausgesprochenen Gegensatz zu den Anschauungen Kirchhoff's fort — lässt sich die Fleckenbildung nicht befriedigend erklären; denn sie vermögen uns weder über die relative Dunkelheit, noch über das wochen-, ja monatelange Beharren der Flecken in Grösse und Form Aufschluss zu geben.

Zöllner erkennt den festen Aggregatzustand als den günstigsten an zur längeren Localisirung eines Wärmeverlustes, „weil bei diesem die Ausgleichung der Temperaturerniedrigung nur durch Leitung

[1]) Poggendorff's Annalen, Bd. CXXXVII (1869), S. 337–361.

möglich ist und nicht wie bei Körpern im flüssigen oder gasförmigen Zustande noch durch Gleichgewichtsstörungen beschleunigt wird.“ Er betrachtet desshalb die dunklen inneren Theile der Sonnenflecken als schlackenartige Abkühlungsproducte auf der glühend-flüssigen Oberfläche.

Nachdem Zöllner den Nachweis geführt hat, dass die localen Temperaturerniedrigungen, durch welche die Sonnenflecken entstehen, in erster Linie der Ausstrahlung von Wärme zugeschrieben werden müssen, untersucht er, welche Gebiete der Sonnenoberfläche für eine starke Wärmeausstrahlung besonders disponirt sind.

Man darf annehmen, dass dieselbe — wie auf Erden — da am intensivsten ist, wo die darüber befindliche Atmosphäre möglichst ruhig und klar ist; wo hingegen warme Luftströme in relativ kalte Regionen emporsteigen oder warme und kalte Luftströme sich treffen, wird Trübung der Atmosphäre, vermehrte Wolkenbildung eintreten und die Fleckenbildung auf ein Minimum reducirt werden.

Die irdische Lufthülle wird vorzüglich von zwei Luftströmungen bewegt: dem Aequatorial- und Polarstrom. Am Aequator, wo der entstehende Aequatorialstrom mit grosser Energie erhitzte Luft in die oberen kälteren Regionen entführt und in denselben Condensation der Wasserdämpfe hervorruft, begegnen wir der regenreichen Zone der Calmen. Ferner finden sich polwärts vom 30. Grad nördlicher und südlicher Breite zwei Gebiete beständiger Trübung der Atmosphäre, weil sich hier Aequatorial- und Polarstrom stets durchdringen. Dagegen ist das Gebiet der Passate zu beiden Seiten der Calmenzone ein Gebiet relativer Heiterkeit des Himmels, da die hier herrschenden Winde beständig den wärmeren Aequatorialgebieten zueilen, sich also von ihrem Sättigungspunkte mehr und mehr entfernen.

Aehnliche Vorgänge wiederholen sich auf der Sonne; nur liegen ihnen hier natürlich ganz andere Ursachen zu Grunde, da die luftbewegenden Kräfte nicht wie auf Erden von aussen zugeführt werden.

Auf der Sonne sind die ihrer glühendflüssigen Oberfläche näher liegenden unteren Schichten bedeutend wärmer als die oberen, da die letzteren durch Ausstrahlung die erhaltene Wärme rasch wieder verlieren, während die ersteren immer reiche Wärmemengen von unten her empfangen. Die unteren Schichten der Sonnenatmosphäre sind deshalb leichter als die oberen, welche von ihnen getragen werden; sie haben also das Bestreben, sich zu erheben. Da aber ein solches Emporsteigen nur möglich ist, wenn an einer anderen Stelle gleichzeitig ein Herabsteigen stattfindet, so ist bei der an allen Stellen der Sonnenkugel vorausgesetzten vollkommenen Gleichheit der Bedingungen zunächst an die Entwicklung einer Luftcirculation nicht zu denken. Das System befindet sich im Zustande des labilen Gleichgewichts wie

etwa ein Stock, den ich auf der Hand balancire. Doch reicht schon ein kleiner Stoss hin, ihn zum Fallen zu bringen. So genügt auch eine kleine Ursache, jenen Zustand des labilen Gleichgewichts zu beseitigen. Und eine solche Ursache ist in der That vorhanden: es ist die Axendrehung der Sonne.

Die Theile eines rotirenden Körpers besitzen das Bestreben, sich von der Drehungsaxe zu entfernen, und zwar ist dieses um so grösser, je weiter sie von derselben abstehen. Auf der Sonne ist es am Aequator am bedeutendsten. Hier ist also die Tendenz der Luft, sich zu erheben, grösser als anderwärts, und dieser Umstand dürfte hinreichen, am Sonnenäquator einen kräftigen Luftstrom nach oben zu erzeugen. So wird ein Luftcirculationssystem eingeleitet, welches dem auf Erden durchaus ähnlich ist: von Nord und Süd her dringen Polarströme auf den frei gewordenen Raum ein, während der am Aequator senkrecht empor gestiegene Luftstrom, der sogenannte Aequatorialstrom, zuerst ungestört über den Polarstrom hinwegfliesst, in mittleren Breiten aber herabsteigt, um sich mit dem letzteren zu vermischen.

Wenn nun wirklich, wie es die Theorie fordert, eine solche Circulation in der Sonnenatmosphäre besteht, so müsste dieselbe durch die Bewegung der Protuberanzen in ähnlicher Weise angedeutet werden, wie etwa der rücklaufende Passat durch die Aschensäulen der Vulcane. In der That ist diese hypothetische Annahme neuerdings mehrfach bestätigt worden. Nach Secchi's 42tägigen Beobachtungen verhielt sich die Zahl der dem Gesetz entsprechend sich bewegenden Protuberanzen zu der Zahl der mit diesem nicht übereinstimmenden wie 292 : 100. Ebenso hat Spörer vom 21. Mai bis 5. October 1871 25 Protuberanzen beobachtet, welche beweisen, dass auf beiden Halbkugeln in den oberen atmosphärischen Schichten eine vom Aequator zum Pol gerichtete Strömung existirt. In demselben Jahre fand Vogel, dass von 13 beobachteten Protuberanzen mit Ausnahme einer einzigen alle auf Ströme schliessen lassen, welche sich in den oberen Regionen polwärts bewegen [1]).

Eine derartige Entfaltung von Luftströmungen gestattet uns nun weiter zu schliessen, dass es auch auf der Sonne zwei Gebiete giebt, welche durch atmosphärische Trübungen in Form von Wolkenbildungen ausgezeichnet sind; das eine befindet sich am Aequator, wo durch den aufsteigenden Luftstrom stark erhitzte und mit Dämpfen gesättigte Luftmassen sich schnell abkühlen, das andere in den Polarzonen, wo die relativ abgekühlten oberen Luftmassen beim Herabsteigen sich mit wärmeren und dampfreicheren Schichten in den unteren Theilen der

[1]) F. Zöllner, Ueber die Natur der Cometen. Leipzig 1872. S. 487 f.

Atmosphäre mischen. Diese Wolkenbildungen, welche — wie wir nochmals hervorheben — bei der glühend-flüssigen Natur ihrer Bestandtheile an Helligkeit nicht wesentlich von ihrer Umgebung verschieden sind, verrichten die Dienste eines Schirms und verzögern die Abkühlung der unter ihnen sich ausbreitenden Sonnenoberfläche. Nördlich und südlich vom solaren Calmengürtel aber liegen, den irdischen Passatgebieten entsprechend, zwei Zonen relativer Klarheit der Atmosphäre. Hier kann also die kräftigste Wärmeausstrahlung erfolgen; hier haben wir auch den Hauptheerd der Fleckenbildung zu suchen.

Die bisher gemachten Beobachtungen stimmen hiermit auf's genaueste überein. Schon Sir John Herschel[1]) machte darauf aufmerksam, dass die Sonnenflecken meist in der Zone zwischen dem 25. Grad nördlicher und südlicher Breite vorkommen und nur selten jenseits des 30. Grades, niemals jenseits des 50. Grades gesehen werden. Die höchste Frequenz findet sich zwischen dem 11. und 15. Grad nördl. Breite; dagegen ist ein Streifen zu beiden Seiten des Aequators (etwa bis zum 5. Grad nördlicher und südlicher Breite reichend) fast immer frei von Flecken.

Wir haben oben gesehen, dass Zöllner die Sonnenflecken als schlackenartige Abkühlungsproducte betrachtet; wie sind nun nach dieser Theorie die Penumbren zu erklären?

Jeder Fleck bedingt an der Oberfläche der Sonne eine Stelle von schroff gegen ihre Umgebung abgegrenzter Temperaturerniedrigung. Die dadurch entstehende Gleichgewichtsstörung hat nothwendig eine lebhafte Circulation der den Flecken umgebenden Atmosphäre zur Folge. Der aufsteigende Theil der Circulation begrenzt die äussere Umgebung der Flecken und erzeugt durch das hiermit verbundene Aufquellen heisserer Theile der Atmosphäre über dem gewöhnlichen Niveau der continuirlich leuchtenden Gasschichten die sogenannten Fackeln. Der absteigende Theil der Circulation erfährt über dem Flecken sofort eine Abkühlung; es bilden sich daher dichte Wolken, welche in einer gewissen Höhe über der Schlackenmasse schweben und uns auf dieselbe projicirt als Penumbra erscheinen. In Folge der Temperaturerniedrigung sind jene Wolkengebilde weniger leuchtend, in Folge ihrer absteigenden Bewegung mit ihrem inneren Rande nach der Oberfläche des Fleckens gesenkt, also in ihrer Gesammtheit trichterartig vertieft. So erklärt sich nach dieser Theorie auch das Wilson'sche Phänomen vollständig ungezwungen.

Jene Condensationswolken über dem Flecken verhindern die weitere kräftige Wärmeausstrahlung; im Gegentheil wird durch Leitung von unten

[1]) Outlines of Astronomy. New edition. London 1875. § 393, p. 251.

und durch Herabströmen glühender Condensationsproducte der Schlackenmasse allmählich eine reiche Wärmemenge wieder zugeführt. Daher schmilzt die Schlackenmasse, und der Fleck löst sich auf.

Um zu zeigen, mit welcher Schnelligkeit sich Flecken in einzelnen Fällen auflösen, führen wir nur ein Beispiel an. Der von Tobias Mayer am 15. März 1758 beobachtete Fleck hatte einen Durchmesser von über 9000 geographischen Meilen; er war also mehr als fünfmal so gross als der Erddurchmesser. Nehmen wir an, dass er noch 6 Wochen lang bestand, als er den Höhepunkt seiner Entwicklung erreicht hatte (und Sonnenflecken vermögen sich selten länger zu behaupten), so mussten sich die einander gegenüber liegenden Ränder im Durchschnitt täglich mehr als 200 geographische Meilen nähern [1]). Und doch ist seine Bildung sicher noch viel rascher vor sich gegangen als seine Auflösung.

Zu der Wirkung der Ausstrahlung gesellt sich nämlich beim Beginn der Fleckenbildung noch eine zweite abkühlende Wirkung, indem kältere Luftmassen aus den höheren Regionen der Atmosphäre herabsteigen und die Oberflächentemperatur so lange erniedrigen, bis ihnen dies wegen fortgeschrittener Erkaltung des Fleckens nicht weiter gelingt und von oben kommende relativ wärmere Strömungen das Uebergewicht erlangen. Die Auflösung eines Fleckens hingegen kann nur durch Berührung mit wärmeren Luft- oder Flüssigkeitsmassen bewirkt werden, da eine Erwärmung durch Strahlung von aussen nicht stattfindet. Zwei Ursachen wirken also im Sinne der Fleckenbildung, nur eine in dem der Auflösung. Daraus erklärt sich die rasche Entwicklung, aber verhältnissmässig langsame Verzehrung der Flecken. Wir beobachten auf Erden übrigens ganz ähnliche Verhältnisse; es genügt oft eine einzige Nacht, um die Oberfläche eines Sees dicht mit Eisschollen zu bedecken, zu deren Auflösung tagelang warme Witterung erforderlich ist. Aus gleichem Grunde steigt auch die Häufigkeitscurve der Sonnenflecken rascher aufwärts als abwärts.

Noch müssen wir einer Erscheinung gedenken, welche besonders an den Rändern der Sonnenflecken häufig sichtbar ist: es sind dies rosenfarbige Hervorragungen eruptiver Natur, denen man den Namen Protuberanzen gegeben hat.

Man wurde schon bei der totalen Sonnenfinsterniss im Jahre 1842 auf dieselben aufmerksam, äusserte jedoch damals Zweifel, ob sie wirklich zum Sonnenkörper selbst gehören; man sprach wohl gar die Vermuthung aus, dass dieses Phänomen von kleinen Wolkenmassen der Erdatmosphäre herrühre. Später beobachtete man sie bei allen totalen

[1]) Sir John F. W. Herschel, l. c. § 386, p. 244 sq.

Sonnenfinsternissen, bei denen sie immer an den Rändern der sich deckenden Mond- und Sonnenscheibe sichtbar werden. Bedeutsam für ihre Erforschung wurde die totale Sonnenfinsterniss vom 18. August 1868, bei welcher sie zum ersten Male spectroskopisch untersucht wurden. Ihr Spectrum zeigte die den Fraunhofer'schen Linien *C* und *F* entsprechenden hellen Linien; sie sind demnach Gebilde gasförmiger Natur und bestehen hauptsächlich aus glühendem Wasserstoffgas. Neuerdings haben Janssen und Lockyer in den Protuberanzen auch jenen auf Erden unbekannten Stoff, Helium, entdeckt[1]).

Die grosse Helligkeit der Spectrallinien erweckte bei dem französischen Physiker Janssen die Hoffnung, auch ausser der Zeit einer totalen Sonnenfinsterniss die Protuberanzen spectroskopisch untersuchen zu können. In der That gelang ihm dies schon am 19. August, dem Tage nach der erwähnten Sonnenfinsterniss. Da die Länge der hellen Spectrallinien zugleich ein Mass ist für die Höhe der Protuberanz an der Stelle, auf welche der Spalt des Instruments gerichtet ist, so war man auch im Stande, durch sorgfältige Beobachtung des Spectrums die Gestalt der Protuberanz zu ermitteln. Man richtete den Spalt des Spectroskops nach und nach auf verschiedene Theile der Protuberanz und notirte jedesmal Länge und Lage der hellen Spectrallinien; aus der Zusammenstellung der gewonnenen Data ergab sich dann das Bild der Protuberanz. Erst Zöllner erfand ein Verfahren, welches gestattet, jederzeit die ganze Protuberanz zu überschauen.

Unter den Protuberanzen befindet sich eine nicht unbeträchtliche Anzahl solcher, deren Anblick jedem Beobachter unmittelbar die Ueberzeugung aufdrängt, dass man es hier mit gewaltigen Eruptionen von glühenden Wasserstoffmassen zu thun habe. Zöllner's Untersuchungen haben es wahrscheinlich gemacht, dass sich jene Wasserstoffmengen in den unterhalb der gluthflüssigen Sonnenoberfläche liegenden Schichten ansammeln, infolge hoher Spannung hervorbrechen und wegen der bedeutenden Druckdifferenz des ausströmenden Gases im Innern und an der Oberfläche der Sonne zu ungeheuren Höhen emporgeschleudert werden. Nach Zöllner's Beobachtungen steigen Protuberanzen oft in 10 bis 12 Minuten zu einer scheinbaren Höhe von 1,5 bis 3 Bogenminuten, also bis zu einer wahren Höhe von 64 bis 128 Millionen Meter empor. Zöllner berechnet, indem er für die Höhe einer Protuberanz einen Werth von 64 Millionen Meter annimmt, eine Anfangsgeschwindigkeit des Aufsteigens von c. 25 geogr. Meilen in der Secunde, eine Bewegungsgrösse, welche nach der mechanischen Wärmetheorie beim Wasserstoff Temperaturdifferenzen von 40690° C.

[1]) Nature, Vol. X, Nr. 252. 27. August 1874, p. 349.

voraussetzt, d. h. die absolute Temperatur der eingeschlossenen Gasmasse ist um soviel höher als die Temperatur der Sonnenatmosphäre unmittelbar über der glühendflüssigen Oberfläche der Sonne.

Auf die Principien der mechanischen Wärmetheorie sich stützend findet Zöllner für die Temperatur der Sonnenatmosphäre einen Werth von 27 700° C., eine Temperatur, welche so hoch ist, dass Eisen in der Sonnenatmosphäre dauernd im gasförmigen Zustande existiren muss; die Temperatur in ihrem Innern würde demnach c. 68 400° C. betragen.

Zöllner berechnet ferner, dass der Druck an der Stelle, an welcher das Wasserstoffspectrum continuirlich zu werden beginnt, etwa $^1/_4$ so gross ist wie der Luftdruck an der Erdoberfläche. Daraus aber ergiebt sich, dass auf der gluthflüssigen Sonnenoberfläche der Druck dem von 184 000 Atmosphären gleichkommt und in den Räumen, aus welchen die Protuberanzen hervorbrechen, sogar eine Grösse von 4 070 000 Atmosphären erreicht, eine Grösse, welche selbst bei so ausserordentlich hohen Temperaturen doch im Stande wäre, permanente Gase, also auch den Wasserstoff in den flüssigen Aggregatzustand zu verwandeln.

Noch besitzt die Sonne, wie eben gezeigt wurde, einen reichen Schatz von Wärmekräften, und doch müssen wir sagen, dass die Fleckenbildung ein unzweifelhaftes Zeichen von Altersschwäche, ein Zeichen für eine herannahende Erschöpfung ihres Wärmevorrathes ist. Aus der Betrachtung der Sonnenflecken können wir sogar ableiten, welchen weiteren Verlauf dieser Abkühlungsprocess nehmen wird. Da die Flecken in zwei Zonen zu beiden Seiten des Aequators auftreten und diesem parallel ziehen, so entstehen dermaleinst kettenartige Verknüpfungen von Flecken in den Passatzonen und somit Fleckenringe. Sie vermögen sich zwar zunächst nicht zu behaupten; sie werden vielmehr durch neue Wärmezuleitung periodisch wieder aufgelöst; doch kehren sie stets rascher und mächtiger wieder, bis sie schliesslich das gewonnene Terrain nicht wieder verlassen. So ist die Bildung zweier fester Krustenzonen eingeleitet. Sterne mit periodischem Lichtwechsel, wie sie schon vielfach beobachtet worden sind, dürften vielleicht bereits in dieses Stadium eingetreten sein.

Endlich kommt für solche leuchtende Körper einmal die Zeit, wo ihre ganze Oberfläche erstarrt und lichtlos ist. Die Existenz solcher Sterne ist schon von verschiedenen bedeutenden Astronomen theoretisch gefordert worden, so von Bessel, welcher aus den eigenthümlichen Bewegungen von Procyon und Sirius geschlossen hat, dass sie beide Doppelsterne sind, von denen je einer lichtlos ist. A. v. Humboldt hatte scherzend seine Besorgniss über die Gespensterwelt der dunklen

Gestirne ausgesprochen; Bessel beharrte jedoch in seinem Glauben an diese und protestirte in einem Briefe an A. v. Humboldt (Juli 1844) lebhaft gegen dessen Aeusserungen[1].

Jedenfalls geht die Sonne aus einem Stadium reichster Fülle von Wärmekräften allmählich über in ein solches mit anfänglich periodischer und dann constanter Fleckenringbildung, endlich aber in einen Zustand gänzlicher Erstarrung ihrer Oberfläche. In diesen Vorgängen erblicken wir ein ziemlich getreues Abbild der verschiedenen Entwicklungsperioden unseres Erdkörpers in früheren geologischen Zeitaltern; gleichzeitig aber sehen wir in ihnen das einstmalige Schicksal der Erdenbewohner besiegelt.

[1]) A. v. Humboldt, Kosmos. Bd. III, S. 267 ff.

IV. Die günstige Stellung der Erde im Sonnensystem.

Nach der Ptolemäischen Vorstellung vom Weltgebäude waren alle Himmelskörper unseres Sonnensystems der Erde dienstbar. Diese stand in der Mitte des weiten Alls, und um sie sollten der Mond, die Sonne und die fünf damals bekannten Planeten ihre Bahnen beschreiben. Copernicus († 1543) war es, der, wie er selbst sagt, die Weltleuchte, die Sonne, die ganze Familie kreisender Gestirne lenkend, in die Mitte des schönen Naturtempels wie auf einen königlichen Thron setzte. Zuerst erntete die neue Lehre nur wenig Beifall, da ihr noch thatsächliche Beweise fehlten, während ihr das Zeugniss der Sinne direct entgegen stand; auch erregte sie kirchlichen Anstoss und zwar nicht bloss, weil sie einigen Stellen der heiligen Schrift zu widersprechen schien, sondern auch weil sie die Erde in ihrem Range tief erniedrigte. Wir werden uns nun in dem Folgenden mit der Frage beschäftigen, ob die Erde wirklich nur ein unbedeutendes Tröpfchen in dem Ocean der Welten ist oder ob wir sie als einen besonders begünstigten Himmelskörper ansehen dürfen. Wir betrachten zu diesem Zwecke die Gestirne unseres Sonnensystems, und es wird sich ergeben, dass die neueren Forschungen der Erde unerwartet wieder einen hohen Rang sichern; denn sie machen es wahrscheinlich, dass sie entweder der einzige oder wenigstens ein ganz bevorzugter Schauplatz von Lebenserscheinungen innerhalb des weiten Sonnensystems ist

Von der Sonne haben wir bereits in dem vorhergehenden Abschnitt gesprochen. Ihren Dimensionen gegenüber verschwindet allerdings die Erde; denn ihr Durchmesser ist 108 mal so gross als derjenige unseres Planeten, und in ihrer Riesenkugel ist Raum für eine Masse, welche 1 259 712 mal diejenige des Erdkörpers übertrifft. Ihr Gewicht ist 740 mal so gross als das aller Planeten zusammen und 355 000 mal so gross als das der Erde, obwohl ihr specifisches Gewicht nur 1,46 beträgt. Ebenso mussten wir ihre ungeheuren Wärmekräfte bewundern; denn die Sonnenatmosphäre hat nach Zöll-

ner's Berechnungen eine Temperatur von 27 700° C.; sie ist also achtmal so gross als die von Bunsen angegebene Hitze der Knallgasflamme. Und doch ist die kleine Erde in einer Beziehung weit über die majestätische Sonne erhaben: sie ist von organischen Wesen bewohnt, während die Sonne nach menschlichem Ermessen niemals der Schauplatz organischen Lebens gewesen ist und auch in Zukunft nicht werden kann. In früheren Zeiten hielt man mit besonderer Vorliebe den Gedanken an die Bewohnbarkeit der Sonne fest. Noch Sir William Herschel liess sich, beeinflusst durch denselben, zu der Annahme eines festen Sonnenkörpers verleiten, über welchem sich nach seiner Ansicht zum Schutze gegen die Ausstrahlungen der Photosphäre eine Decke planetarischer Wolken ausbreitete. Derartige Anschauungen stehen mit den Resultaten der neueren physikalischen Forschung im grellsten Widerspruch, und seitdem der Beweis geliefert worden ist, dass in der Sonnenatmosphäre in Folge höchster Erhitzung Eisen dauernd im gasförmigen Zustande existiren muss, denkt wohl niemand ernstlich mehr daran, dass auf der Sonne Organismen ihr Dasein fristen können. In dieser Hinsicht steht die Erde trotz ihrer bescheidenen Grösse unendlich höher als der gigantische Feuerball der Sonne.

Wir untersuchen nun in dem Folgenden die physischen Zustände der Planeten und stellen uns bei Betrachtung eines jeden namentlich auch die Frage: Ist auf demselben organische Belebung möglich? Indem wir die Erde mit den anderen Planeten vergleichen, werden wir am besten erkennen, was sie ist und was sie sein könnte.

Der Sonne am nächsten ist Mercur. Er ist der kleinste unter den bekannten älteren Planeten; denn sein Durchmesser beträgt nur 670 geogr. Meilen oder etwas mehr als ein Drittel des irdischen. Sein specifisches Gewicht kann noch nicht befriedigend bestimmt werden. Das einzige Verfahren, den Mercur zu wiegen, besteht nämlich darin, dass man aus der stattgefundenen Ablenkung eines Cometen die Planetenmasse durch Berechnung ableitet; leider aber gelangt man auf diesem Wege noch nicht zu vertrauenswerthen Ergebnissen. Vormals hielt man ihn so schwer wie Blei (spec. Gew. 11,3); allein aus den Störungen des Encke'schen Cometen haben die Astronomen geschlossen, dass er nicht viel mehr als um $^1/_6$ dichter sei als die Erde. Nach neueren Angaben besitzt Mercur ein specifisches Gewicht von 6,84. Seine Masse ist 0,05, die der Erde = 1 gesetzt. Hiernach würde seine Anziehungskraft derartig sein, dass auf seiner Oberfläche ein irdisches Centnergewicht nur einen Druck von 31 Pfunden auf seine Unterlage ausübte [1]).

[1]) Dieser Werth wird auf folgende Weise ermittelt: Das Gewicht eines Körpers auf der Oberfläche eines Planeten ist die Resultirende aller Anzie-

Mercur vollendet schon in 88 Tagen (genau 87 T. 23 St. 16 Min.) einen Umlauf um die Sonne, so dass auf ihm die Zeit von Weihnachten bis zum Johannistage, wenn man so sagen darf, nur gegen sechs Erdenwochen dauert.

Im Mittel ist Mercur 8 Millionen geogr. Meilen von der Sonne entfernt; er ist ihr also vergleichsweise nahe. Der grösste Winkelabstand, bis zu welchem er sich möglicher Weise von der Sonne entfernen kann, beträgt 27° 42′. Er ist somit nie bei voller Nacht, sondern nur in der Morgen- und Abenddämmerung sichtbar. Daher kommt es, dass dieses Gestirn trotz seiner Strahlenmacht in solchen Erdräumen, wo der Horizont auch bei klarem Wetter durch Dünste verdüstert bleibt, nie mit unbewaffnetem Auge gesehen wird. Der grosse Copernicus klagte noch auf seinem Sterbebette, „dass er zur Grube fahren müsse, ohne je diesen Planeten erblickt zu haben“, den ihm die Nebel der Weichselgegenden auf Lebenszeit verhüllten.

Die Excentricität der Mercurbahn ist bedeutender als bei irgend einem anderen Planeten; sie ist gleich 0,206 [1]). Die kleinste Entfernung des Mercur von der Sonne beträgt ungefähr 6 Millionen, die grösste 10 Millionen geogr. Meilen. Die Licht- und Wärmekräfte, welche ihm die Sonne spendet, sind im Mittel 6,69 mal so gross als

hungen, welche die den Planeten bildenden Moleküle auf jenen Körper ausüben. Diese Resultirende ist bei einem kugelförmigen Körper — vorausgesetzt, dass dessen Masse homogen oder wenigstens in gleichem Abstande vom Mittelpunkte überall homogen ist — stets gegen den Mittelpunkt gerichtet; die Gesammtanziehung des Planeten wirkt also gerade so, als ob die ganze Masse desselben im Mittelpunkt vereinigt wäre. Nun ziehen sich zwei Körper mit einer Kraft an, welche ihren Massen direct und dem Quadrat ihrer Entfernung umgekehrt proportional ist. Setzen wir die Schwerkraft auf der Oberfläche der Erde gleich 1 und bezeichnen wir mit m die Masse, mit ϱ den Halbmesser eines Planeten (beide Werthe ausgedrückt als ein gewisses Vielfache der entsprechenden irdischen Grössen), so ergiebt sich für die Schwerkraft auf der Oberfläche irgend eines anderen Weltkörpers

$$V = \frac{m}{\varrho^2}$$

Da nun die Masse Mercur's, verglichen mit derjenigen der Erde, = 0,05 und sein Radius 0,4 von dem des Erdradius ist, so erhalten wir:

$$V = \frac{0{,}05}{0{,}4^2} = 0{,}31.$$

Somit würde ein irdisches Pfund, auf die Mercuroberfläche gebracht, einen Druck auf ihre Unterlage ausüben, welcher gleich ist dem Druck von 0,31 Pfund auf der Erdoberfläche.

[1]) Die Excentricität, d. i. die Entfernung der beiden Brennpunkte vom Mittelpunkt der Ellipse, ist hier in Theilen der halben grossen Axe ausgedrückt.

diejenigen, welche die Erde erhält. Doch variiren dieselben im Laufe eines Mercurjahres wegen der starken Excentricität seiner Bahn sehr bedeutend; er empfängt nämlich bei seiner Sonnennähe mehr als doppelt soviel Licht als bei seiner Sonnenferne, im ersteren Falle aber $10\frac{1}{2}$ mal soviel als durchschnittlich die Erde. Selbst bei seiner grössten Sonnenferne glüht die Sonne am mercurialen Himmel als eine Scheibe, deren Fläche $4\frac{1}{2}$ mal so gross ist als die der Sonne am irdischen Himmel. Dass Mercur eine Axendrehung besitzt, darf nicht bezweifelt werden; dass er aber, wie Schröter angiebt, seine Rotation in 24 Stunden 5 Minuten 28 Secunden vollziehe, erheischt noch bessere Bestätigung, und ebenso wenig Zutrauen verdient die Behauptung, dass die Aequatorialebene des Mercur stärker zu seiner Bahnebene geneigt sei, als dies bei der Erde der Fall ist. Es fehlt uns demnach auch jegliche sichere Kenntniss über die mercurialen Jahreszeiten.

Ob es auf dem Mercur sehr heiss sei nach menschlichen Begriffen, können wir erst bestimmt behaupten, wenn wir wissen, ob Mercur mit einem dichten oder dünnen Luftkreis umgeben ist. Wir müssen hier vor allem erst einmal untersuchen, welche Bedeutung die Atmosphäre im Haushalt der Natur hat. Die Atmosphäre besitzt folgende Eigenthümlichkeiten: sie lässt zwar die aus einer stark erhitzten Wärmequelle, z. B. aus der Sonne kommenden Strahlen leicht hindurch; dagegen vermag die von der Sonne der Erde mitgetheilte Bodenwärme nicht so leicht wieder rückwärts die Atmosphäre strahlend zu durchdringen und in den Weltraum auszuströmen. Die Atmosphäre verrichtet also in Bezug auf die Sonnenstrahlen gewissermassen die Dienste eines nach unten sich öffnenden, nach oben sich schliessenden Ventiles und hält somit die Wärme an der Erdoberfläche fest[1]. Je dünner die Luft ist, desto rascher und leichter gehen die Sonnenstrahlen hindurch, mit anderen Worten: desto weniger wird die Luft von ihnen erwärmt, und desto schneller wird gleichzeitig wieder die Wärme zurückgestrahlt werden und der Boden sich abkühlen. Wäre z. B. die Erde mit einem dünnen Luftkreis umgeben, dann würden sich überall auf ihr jene Erscheinungen wiederholen, die Hooker auf dem Himalaya beobachtete, wo das Quecksilber bei 3000 Meter Höhe an einem Decembermorgen gegen 9 Uhr in der Sonne auf 55,5 ° C. stieg, während es beschattet und im Schnee auf —5,5 ° C. zurückging[2]. Denkt man sich aber die Atmosphäre ganz von der Erde hinweggenommen, so würde die Temperatur des Erdbodens nach Sonnenuntergang und

[1]) J. R. Mayer, Die Mechanik der Wärme. 2. Aufl. Stuttgart 1874. S. 190.

[2]) Richard A. Proctor, Other Worlds than Ours. 4th ed. London 1878. p. 57.

im Schatten schnell zur intensivsten Kälte, zur Temperatur des Weltraumes herabsinken, und wahrscheinlich würde selbst in der tropischen Zone die Mittagssonne nicht mehr im Stande sein, das zu Eis erstarrte Wasser zu schmelzen. Somit sind Himmelskörper, die gar keine oder nur eine sehr dünne Atmosphäre besitzen, sicher nicht bewohnt, selbst wenn wir ganz davon absehen wollten, dass der Ernährungsprocess bei keinem Organismus sich ohne den Beistand von Luft vollziehen kann.

Wie steht es nun mit der Lufthülle des Mercur? Spectroskopische Untersuchungen können in diesem Falle deshalb nicht entscheidend sein, weil Mercur selbst bei seiner grössten Elongation von der Sonne nur in der Dämmerung in der Nähe des Horizontes beobachtet werden kann. In Folge dessen ist es nicht möglich, den Einfluss, welchen unsere Atmosphäre an den bisher an ihm gemachten spectralanalytischen Wahrnehmungen hat, von dem zu scheiden, welchen die etwa vorhandene Atmosphäre des Planeten hervorbringen könnte [1]). Manche Astronomen haben dem Mercur eine viel dichtere und stärker mit Wasserdämpfen beladene Lufthülle wie die irdische zugeschrieben; allein wäre er sehr häufig in Wolken gehüllt, dann müsste er weit stärker das empfangene Sonnenlicht zurückwerfen, als es bei klarem Wetter von einer continentalen oder oceanischen Oberfläche geschehen würde. Da nun aber das Mercurlicht im Vergleich zu dem anderer umwölkter Planeten schwach ist, so geniesst Mercur sicher mehr „schönes Wetter“, als ihm lieb sein dürfte. Neuerdings hat dies Zöllner in seinen „Photometrischen Untersuchungen über die physische Beschaffenheit des Planeten Mercur“ [2]) ausdrücklich bestätigt. Er kommt hier (S. 639) zu dem Schlusse: „Der Mercur ist ein Körper, dessen Oberflächenbeschaffenheit mit derjenigen des Mondes sehr nahe übereinstimmt, der also auch, wie der Mond, wahrscheinlich keine merkliche Atmosphäre besitzt.“ Zöllner weist hier auch darauf hin, dass bei Mercur die Grösse der beobachteten Phase stets etwas kleiner ist als die berechnete, während bei der Venus eine solche Abweichung nicht stattfindet, und erblickt die Ursache dieser Verschiedenheit in der Abwesenheit einer Atmosphäre bei Mercur und in dem Vorhandensein einer sehr dichten, mit Wolken erfüllten bei der Venus. Denn eine mit Bergen und Erhebungen bedeckte und seitlich erleuchtete Oberfläche eines Planeten muss an der Beleuchtungsgrenze durch Schattenwurf eine Verminderung ihrer Phase erleiden: ein Umstand, von dem man sich direct durch Beleuchtung einer

[1]) H. C. Vogel in Poggendorff's Annalen, Bd. CLVIII (1876), S. 462 f.

[2]) Poggendorff's Annalen, Jubelband (1874), S. 624—643; vgl. auch F. Zöllner, Ueber die Natur der Cometen. S. 105.

künstlich mit Erhebungen bedeckten Kugel im Vergleich zu einer homogenen Kugel überzeugen kann. Somit ergiebt sich für Mercur der Schluss: entweder besitzt er gar keine oder eine kaum merkliche Atmosphäre; in beiden Fällen aber kann er menschlichen Vorstellungen nach nicht von organischen Wesen belebt sein.

Unser sonnenwärts gelegener Nachbar, die Venus, würde, was ihre Masse betrifft, der Erde wie ein Zwilling gleichen, wenn sie auch einen Mond hätte. Manche Astronomen, und darunter auch solche ersten Ranges wie Cassini und Short, wollen allerdings einen Venussatelliten mit zwei verschiedenen Fernrohren und vier verschiedenen Ocullargläsern erkannt haben. Viermal zwischen dem 3. und 11. Mai 1761 sah Montaigne einen Körper in der Nähe der Venus, welcher die gleiche theilweise Beleuchtung (Phase) wie der Planet wahrnehmen liess, genau so wie man es von einem Venusmond zu erwarten hätte. Im März 1764 glaubte Rödkier, etliche Tage nach ihm Horrebow und am 15., 28. und 29. März jenes Jahres Montbaron den räthselhaften Begleiter zu erkennen. Zuletzt hat Scheuten erklärt, bei dem Durchgang der Venus durch die Sonne im Jahre 1761 einen Satelliten dieses Planeten gesehen zu haben. Aber die neuere Zeit mit ihren verbesserten Instrumenten hat keine Spur mehr von einem Begleiter aufgefunden, wenn auch noch immer Astronomen wie Admiral Smyth die Hoffnung auf Entdeckung eines Venussatelliten nicht aufgegeben haben. Beiläufig bemerkt würden auch ohne Mond die Meere der Venus — vorausgesetzt, dass es solche auf dem Planeten gäbe — von Ebbe und Fluth bewegt werden. Die Fluthwelle, welche auf der Venus durch die Zugkraft der Sonne hervorgebracht wird, ist nämlich $2^1/_2$ mal so gross als die Sonnenfluthwelle auf der Erde, und da unsere irdische Mondfluthwelle allein ungefähr das $2^1/_4$ fache der irdischen Sonnenfluthwelle beträgt, so würden die Fluthhöhen auf der Venus etwa so hoch sein wie diejenigen auf Erden, welche zwischen Spring- und Nippfluthen eintreten.

Der Durchmesser der Venus hat eine Länge von 1717 Meilen; sie ist also fast genau so gross wie die Erde. Setzen wir die Dichtigkeit des Wassers gleich 1, so ist ihre Dichtigkeit 5,10; auch diese kommt also derjenigen der Erde (5,6) ziemlich nahe. Da sich die Masse unseres Planeten zu der der Venus wie 1 : 0,87 verhält, so haben nach der Formel $V = \frac{m}{\varrho^2}$ (s. S. 80) 100 irdische Pfunde auf der Venusoberfläche nur ein Gewicht von 87 Pfunden.

Ihren Umlauf um die Sonne vollendet die Venus in 224 Tagen 16 Stunden 49 Minuten. Manchmal erscheinen äusserst schwache, kaum wahrnehmbare Flecken, aus deren Bewegung man geschlossen hat,

dass sie sich in 23 Stunden 21 Minuten um ihre Axe dreht: eine Rotationszeit, die mit derjenigen der Erde nahezu übereinstimmt.

Unter allen Planetenbahnen hat die Bahn der Venus die geringste Excentricität (0,007). Venus ist im Mittel gegen 15 Millionen geogr. Meilen von der Sonne entfernt; der Unterschied zwischen ihrem weitesten und ihrem kleinsten Abstande von der Sonne beträgt nur 200 000 Meilen. Da der Durchmesser der Sonne am Venushimmel etwa um ein Drittel länger erscheint als an dem unsrigen, so ist deren Licht und Wärmewirkung $1^7/_9$- (genauer 1,91-) mal so gross wie auf Erden, so dass bei einer im übrigen gleichen planetarischen Verfassung der Tropengürtel der Venus nach unseren Begriffen unerträglich heiss sein müsste.

An der Venus lässt sich befriedigend nachweisen, dass sie von einer beträchtlichen Lufthülle umgeben ist. Hätte nämlich Venus keine Atmosphäre, so müssten zur Zeit, wo sie als Sichel sichtbar ist, Licht- und Schattenseite, wie beim Monde, scharf gegen einander abgegrenzt sein. Die Beobachtungen aber haben ergeben, dass das blendende Licht der Venussichel sich allmählich gegen die Nachtseite der Venus hin verliert und dass einzelne Lichthörner über den Halbkreis noch hinausragen. Dies ist aber nur möglich, wenn ausser dem Planeten auch eine Lufthülle beleuchtet wird, die lichtbrechende Wirkung äussert, die also nach dem Untergang der Sonne dem Planeten eine Dämmerung verleiht. „Bei einer Gelegenheit“, berichtet uns Secchi [1]), „als sich Venus in der unteren Conjunction befand und folglich ihre Sichel auf einen sehr feinen Lichtfaden reducirt war, liess sich ungeachtet der Feinheit ihrer Spitzen doch deutlich erkennen, dass die Sichel mehr als einen halben Kreisumfang und volle 18 Grad mehr einnahm, als es ohne Einwirkung der Dämmerung hätte der Fall sein müssen. Man hat sogar in einigen solchen Fällen die ganze dunkle Scheibe beleuchtet zu sehen geglaubt und Lichtscheine wahrgenommen, welche mit unseren Polarlichtern Aehnlichkeit hatten.“ Auch die Untersuchungen Vogel's über die Venusatmosphäre haben zu ähnlichen Ergebnissen geführt [2]). Er spricht das Resultat seiner zahlreichen, sorgfältigen Beobachtungen in folgenden Worten aus: „Das nebelartige, verschwommene Aussehen der Flecke, sowie die — besonders zu der Zeit, wo die Venus als Sichel erscheint, — auffallende Abnahme des Lichtes nach der Beleuchtungsgrenze machen es sehr wahrscheinlich, dass der Pla-

[1]) A. Secchi, Die Sonne. Uebers. von H. Schellen. Braunschweig 1872. S. 695.

[2]) Beobachtungen, angestellt auf der Sternwarte des Kammerherrn v. Bülow zu Bothkamp. Heft 2. Herausgegeben von H. C. Vogel, Astronom der Sternwarte. Leipzig 1873. S. 125.

net von einer Atmosphäre umgeben ist, in der eine sehr dichte und dicke Schicht von Condensationsproducten schwebt, und dass die Aufhellungen in dieser Schicht nie so weit gehen, dass sie deutlich markirte Flecken auf der Venusscheibe bedingen oder einen Durchblick auf die Oberfläche des Planeten gestatten.“ Die lichtbrechende Wirkung der Venusatmosphäre ist um $^1/_3$ stärker als die der Erde.

Das Spectrum der Venus stimmt im wesentlichen mit dem der Sonne überein. Einige Linien, insbesondere die Natriumlinien, erscheinen etwas verbreitert; auch treten im Venusspectrum mehrere Streifen hinzu, deren Identität mit denjenigen im Absorptions-Spectrum unserer Atmosphäre nicht zu verkennen ist. Da sie jedoch sehr schwach sind, so müssen wir annehmen, dass die Sonnenstrahlen nur wenig in die atmosphärische Hülle der Venus einzudringen vermögen und zum grössten Theil an der Wolkenschicht derselben reflectirt werden [1]). Auf Grund der bisherigen spectralanalytischen Untersuchungen des Venuslichtes darf man annehmen, dass Venus von einer im allgemeinen gleichartig gemischten Lufthülle umgeben ist wie unsere Erde.

Nach alledem könnte Venus organisch belebt sein; undenkbar hingegen wird dies, wenn, wie es wahrscheinlich ist, ihr Aequator eine Neigung von 75 Grad gegen ihre Bahnebene hat [2]). In Folge dieses Missverhältnisses würden sich ihre Polarzonen bis auf 15 Grad dem Aequator und umgekehrt ihre Wendekreise bis auf 15 Grad den Drehungspolen nähern. Ein Bewohner der Venus in der Nähe eines ihrer Pole würde also zur Sommerzeit die Sonne senkrecht über sich sehen, und sie würde dann das $2^1/_2$fache von Licht und Wärme über ihn ausströmen als auf Erden um Mittag eine Tropensonne. Dann folgte aber ein erbarmungsloser Winter, wo die Sonne drei Monate lang entweder gar nicht oder nur auf kurze Zeit und wenig hoch über dem Horizont sichtbar wäre. Die Bewohner der Aequatorialzone der Venus würden im Frühling und im Herbst während der Nachtgleiche die senkrechten Pfeile der Sonnenstrahlen mit $2^1/_2$facher Kraft wie auf Erden zu ertragen haben. Zur Sommerzeit aber würde die Sonne fast den ganzen Tag am Himmel bleiben, jedoch sich nie hoch über den Horizont erheben. Zur Winterzeit dagegen träte ein ganz kurzer Tag ein, während dessen die Sonne sich am südlichen Horizont, selbst um Mittag nicht, sehr hoch emporschwingen könnte, so dass eine Kälte herrschen müsste wie etwa an den irdischen Polarkreisen. Freilich

[1]) Poggendorff's Annalen, Bd. CLVIII (1876), S. 464.

[2]) Nach de Vico beträgt dieser Winkel nur 53° 12′. Secchi, l. c. S. 695.

ist die hier vorausgesetzte starke Neigung der Drehungsaxe des Planeten Venus noch nicht bestimmt erwiesen. Wäre die Stellung seiner Axe günstiger, so dürfte man die Vermuthung aussprechen, dass organisches Leben auf ihm bestehen könnte.

Die grösste physische Aehnlichkeit mit unserem Planeten besitzt unstreitig der äussere Nachbar der Erde, Mars.

Sein Durchmesser beträgt 918 geogr. Meilen oder etwa $^{10}/_{19}$ des irdischen; seine Oberfläche verhält sich also zu derjenigen der Erde etwa wie 5:18. Somit ist die Quadratmeilenzahl des Mars nicht viel grösser als die aller Festlande unseres Planeten ohne die Meere. Seine Dichtigkeit ist 5,3 mal so gross als die des Wassers; sie stimmt demnach ziemlich mit derjenigen der Erde (5,6) überein. Die Zugkraft an der Oberfläche des Mars, für dessen Masse wir den Werth 0,132 erhalten, wenn wir die Masse der Erde als Einheit annehmen, ist bedeutend geringer als die an der Erdoberfläche; 100 terrestrische Pfundgewichte würden dort nur einen Druck von c. 47,5 Pfund ausüben.

Sein Jahr hat eine Länge von 686 Tagen 23 Stunden 30 Minuten. Folglich würde ein akademisches Semester auf dem Mars 11 $^{1}/_{3}$ irdische Monate dauern. Aus der Bewegung der Marsflecken hat man gefolgert, dass dieser Planet seine Axendrehung in 24 Stunden 37 Minuten 23 Secunden vollendet.

Seine Bahn hat nächst der des Mercur die bedeutendste Excentricität; diese ist gleich 0,093. Da das Centrum der Marsbahn über 2 $^{1}/_{2}$ Millionen geogr. Meilen von der Sonne entfernt ist, so empfängt Mars bei seiner grössten Sonnennähe beinahe 1 $^{1}/_{2}$ mal soviel Licht und Wärme als bei seiner grössten Sonnenferne. Der mittlere Abstand des Mars von der Sonne beträgt c. 32 Millionen geogr. Meilen; an Sonnenkräften (Licht und Wärme) erhält er durchschnittlich nur 0,43 mal so viel als die Erde. Da auf dem Mars das Jahr weit länger ist, da ferner sein Aequator mehr gegen die Bahn geneigt (30° 18′) und deren Excentricität grösser ist als bei der Erde, so müssen auch die Jahreszeiten auf dem Mars viel schärfere Temperaturgegensätze aufweisen als auf Erden.

Dem unbewaffneten Auge erscheint Mars als eine röthliche Scheibe; im Fernrohr aber sieht man, dass die genannte Farbe nur bestimmten Gebieten eigen ist, zwischen denen grünliche Strecken golf- und mittelmeerartig eingeschaltet liegen. Vielmals misslang der Entwurf von Marskarten. Zur Zeit der Opposition im Jahre 1862 richteten viele rehvorragende Beobachter, so Secchi, Lassell und Lord Rosse, ihre mächtigen Teleskope nach dem Mars; aber ihre Zeichnungen widersprachen sich so, dass ihnen kein Werth beigemessen werden konnte. Dagegen erwiesen sich damals und bei der

Opposition im Jahre 1864 Instrumente mit geringerer Vergrösserungskraft als vortrefflich; mit Hilfe derselben entwarfen Lockyer, Kaiser, Schmidt und Philipps, sowie Dawes, der jedoch stärkere Vergrösserungen anwandte, ziemlich gut übereinstimmende Skizzen [1]). Sind nun jene röthlichen Stellen auf der Marsoberfläche Festland, die grünlichen aber Seen, so besteht auf dem Mars zwischen Land und Meer das umgekehrte Verhältniss wie auf Erden; denn das trockene Land nimmt mehr als den doppelten Raum ein wie das mit Wasser bedeckte. Oft genug jedoch zeigt Mars seine Landkarten gar nicht, sondern ist wie mit einem Schleier umhüllt. Diesen Schleier hält man für einen wässerigen Dunstkreis. Gewöhnlich schimmert auch Mars an seinen westlichen und östlichen Rändern viel heller und weisslicher. Dies würde auf Wolken deuten, die man je näher dem Rande, desto mehr tangential sähe. Was uns aber ganz besonders auf dem Mars anheimelt, sind die beiden weissen kreisförmigen Flecken an seinen beiden Polarcirkeln, welche noch dazu regelmässig wachsen und abnehmen, je nachdem der eine oder der andere Polarcirkel in seine meteorologische Winter- oder Sommerzeit eintritt. Unzweifelhaft dürfen wir sie für Schnee- und Eisansammlungen halten, und um so wahrscheinlicher wird es nun dass die grünen Gebiete auf der Marsscheibe Meere sind.

Dafür, dass Mars von einer mit Wasserdampf erfüllten Luft umhüllt ist, besitzen wir übrigens noch einen directen Beweis. Am 14. Februar 1867 untersuchte Huggins das Marslicht mit einem Spectroskop. Mars, als nicht selbst leuchtend, muss uns ein Sonnenfarbenbild liefern, das heisst eine Regenbogenscala mit schwarzen Fraunhofer'schen Linien. Das Sonnenlicht, welches uns Mars zurückwirft, muss jedoch zuerst eine Dunsthülle des Planeten auf dem Wege von der Sonne zum Mars und abermals vom Mars zur Erde durchstreifen, und in dieser Lufthülle müssen neue Absorptionen stattfinden, oder mit anderen Worten: zu den Fraunhofer'schen Linien müssten sich noch etliche neue gesellen. In der That wurde auch das martialische Spectrum in seinem Orangeband von einer Gruppe schwarzer Linien durchzogen, welche genau derjenigen entsprach, die sich im Sonnenspectrum am Abend einfindet, wenn die Strahlen unseres Tagesgestirns bei dessen tieferem Stande einen weiteren Weg durch die dichteren Schichten unserer Lufthülle zurückzulegen haben. Um ganz sicher zu sein, dass die Gruppe jener entdeckten Linien martialischen Ursprungs sei und nicht etwa von einem zufällig während der Beobachtung herrschenden meteorologischen Zustande unseres Luftkreises herrühre, richtete Huggins sein Spectroskop gegen die Scheibe des Mondes,

[1]) T. W. Webb in Nature, Vol. IX, Nr. 224. 12. February 1874, p. 288.

der damals dem Horizont näher stand als Mars und uns daher sein Licht durch die Luftschichten schräger zusandte. Allein nichts von den martialischen Absorptionsstreifen war sichtbar. Wir wissen also jezt zuverlässig, dass die Lufthülle des Mars hinsichtlich ihrer Zusammensetzung der irdischen ähnlich ist [1]). Vogel's neuere Untersuchungen haben zu gleichen Ergebnissen geführt [2]).

Auch muss die Atmosphäre des Mars durch ähnliche Strömungen bewegt werden wie die irdische; nur dürfen wir uns die Passate auf dem Mars nicht so stark abgelenkt denken wie auf Erden; denn da jener Planet einen kleineren Durchmesser besitzt als der unsrige und die Dauer einer seiner Umdrehungen etwas länger währt als eine irdische, so ist auch seine äquatoriale Drehungsgeschwindigkeit beträchtlich geringer. Wir können noch hinzufügen, dass, da die Winde durch die Sonnenwärme entstehen und Mars viel weniger stark besonnt wird, auch die Vorgänge in seinem Luftmeer viel sanfter erfolgen müssen. Giebt es auf der Marsoberfläche Berge und Thäler, so muss auch, da Regen vorhanden ist, die Erosion wirksam sein. Endlich dürfen wir auch erwarten, dass die Marsmeere von Ebbe und Fluth bewegt werden, da Hall in Washington am 11. und 17. August 1877 zwei Marsmonde entdeckt hat. Kurz, wenn irgend ein Planet physische Aehnlichkeiten mit der Erde hat, so ist es Mars; menschlichen Vorstellungen nach dürfte er wohl geeignet erscheinen, ein Schauplatz organischen Lebens zu sein.

Jenseits des Mars umkreisen die Planetoiden die Sonne. Bisher wurden ihrer nahezu 200 entdeckt (15 von Luther, 13 von Goldschmidt), und sicher sind uns noch viele unbekannt. Sie sind alle teleskopisch und gehören zu den kleinsten astronomischen Objecten. Ihr Durchmesser lässt sich nur in wenigen Fällen durch directe Messung bestimmen; je kleiner derselbe ist, desto störender wirkt die Irradiation auf eine genaue Messung derselben. Man muss sich deshalb meistens begnügen, die Grösse der Planetoiden aus einer photometrischen Vergleichung derselben zu berechnen. Hiernach ergiebt sich für Ceres, den grössten dieser kleinen Planeten, ein Durchmesser von 46,2 geogr. Meilen, für Clio, einen der kleineren, von 3,9 geogr. Meilen. Der Umfang der letzteren beträgt also nur 12 Meilen (eine Weglänge, welche ein Eisenbahnschnellzug in $2\frac{1}{2}$ Stunden zurücklegt), und ihre Oberfläche (48 Quadratmeilen) ist so gross wie diejenige des Herzogthums Anhalt. Die Massen der Planetoiden sind so gering, dass sie in ihrer Gesammtheit noch nicht den dritten Theil der Erdmasse ausmachen.

[1]) Proctor, l. c. p. 95 sq.
[2]) Poggendorff's Annalen, Bd. CLVIII (1876), S. 465 f.

Ihren Weg um die Sonne vollenden sie in sehr ungleichen Zeiträumen; so umfasst ein Jahr der Flora 1193, der Hygiea 2043 Tage.

Die Bahnen der Planetoiden sind meist stark excentrisch; z. B. ist die Excentricität der Iris 0,227, die der Juno 0,255, die der Pallas 0,242. Die geringste Excentricität 0,077 hat die Bahn der Ceres. Flora hat den kleinsten und Hygiea den grössten mittleren Abstand von der Sonne; ersterer ist 2,20, letzterer 3,15, wenn man den Abstand der Erde von der Sonne gleich 1 setzt [1]).

Olbers hat die Vermuthung ausgesprochen, dass die Asteroidenschaar durch Explosion eines grösseren Planeten entstanden sei; Laplace hingegen lässt sie aus einem Nebelring sich bilden, der, statt in einen Körper zusammenzufallen, in mehrere Fragmente aus einander stob. Beide Ansichten können bis jetzt weder bestätigt noch widerlegt werden.

Ueber die physische Beschaffenheit der Planetoiden fehlen uns jegliche Erkenntnisse; doch dürfen sie wegen ihrer Kleinheit kaum als geeignete Wohnplätze für organisches Leben angesehen werden.

Ueberschreiten wir die Zone, in welcher sich die Asteroiden bewegen, so gelangen wir zu dem Riesen unter den Planeten, zu Jupiter. Sein Aequatorialdurchmesser (der Polardurchmesser ist um $^1/_{14}$ kleiner) hat eine Länge von 19 294 geogr. Meilen und ist demnach $11^1/_4$ mal so gross als derjenige der Erde. Seine Oberfläche übertrifft die der Erde um das 125fache; nicht weniger als 1425 Erden würden, falls sie dehnsam wären, in dieser Riesenkugel Raum finden. Setzen wir die Schwere des Wassers = 1, so ist die des Jupiter = 1,32; seine Dichtigkeit verhält sich also zu der der Erde (5,6) wie 0,236 : 1. Somit ist seine Masse nur 336 mal so gross als die der Erde [2]).

[1]) Joh. Müller, Lehrbuch der kosmischen Physik. 4. Aufl. Braunschweig 1875. S. 165 ff.

[2]) Die Masse eines Himmelskörpers, der, wie Jupiter, Satelliten besitzt, deren Bahnen genau bestimmt sind, berechnet man in folgender Weise: Jeder Satellit steht unter dem Einfluss zweier Kräfte: Vermöge der einen, der Centrifugalkraft, würde er sich mit gleichbleibender Geschwindigkeit auf einer Geraden fortbewegen und sich immermehr von dem Planeten, dem er angehört, entfernen. Vermöge der anderen Kraft jedoch, der Anziehungskraft des Planeten, wird er sich diesem nähern. Die letztere zwingt also den Satelliten, von seiner geradlinigen Bahn abzuweichen und eine elliptische Bahn um den Planeten zu beschreiben. Wir kennen nun für jeden Moment die Richtung, in welcher sich der irdische Mond bewegt: es ist die Gerade, welche die Ellipse in dem Punkte, wo sich der Mond befindet, berührt; wir kennen ferner den Punkt, bis zu welchem er auf dieser Geraden in der nächsten Secunde gelangen würde, da nach dem zweiten Gesetze Kepler's die Geschwindigkeit bekannt ist; endlich kennen wir auch den Punkt, bis zu welchem er innerhalb derselben Secunde wirklich gelangt. Der letzte ist der Erde näher

Immerhin ist die Schwerkraft an seiner Oberfläche mehr als $2^1/_2$ mal so stark als an der irdischen, so dass ein Mensch, der einen Centner wiegt, an der Oberfläche des Jupiter sich mit solcher Anstrengung bewegen müsste, als hätte er noch ein Uebergewicht von $1^1/_2$ Centnern eingeschluckt.

Seinen Lauf um die Sonne vollendet Jupiter in 4332 Tagen 14 Stunden 2 Minuten, so dass auf dem Jupiter die Länge eines „Monats" fast ein irdisches Jahr beträgt. Er vollführt in 10 Stunden (genauer in 9 Stunden 55 Minuten 26,5 Secunden) eine Umdrehung; seine äquatoriale Geschwindigkeit ist also 27 mal $\left(\frac{11^1/_4 \cdot 24}{10} = 27\right)$ grösser als die irdische. Die Sonne braucht auf Erden am Aequator 2 Minuten um aufzugehen oder einen Weg zurückzulegen, der so gross ist wie ihr scheinbarer Durchmesser. Auf dem Jupiter ist ihr Durchmesser fünfmal kleiner (also gleich 6 Bogenminuten) und ihre scheinbare Geschwindigkeit $2^1/_2$ mal grösser; daher geht die Sonne am Aequator des Jupiter in 10 Secunden auf.

Die Excentricität seiner Bahn beträgt 0,048; seine Entfernung von der Sonne, welche zwischen $102^1/_2$ und $112\ ^1/_2$ Millionen Meilen variirt, ist über fünfmal so gross als der Abstand der Erde von der Sonne. Er empfängt in Folge dessen auch nur 0,036 der Licht- und Wärmekräfte von der Sonne, wenn man dieselben Kräfte auf der Erde mit dem Werthe 1 bezeichnet. Seine Drehungsaxe steht fast senkrecht auf

als der erste, und der Abstand beider Punkte ist das Mass für die Anziehung der Erde auf den Mond. Dasselbe giebt uns zugleich an, wie weit jeder Körper, sich selbst überlassen, in einer Secunde gegen die Erde fallen würde, wenn er eben so weit wie der Mond von der Erde entfernt wäre. Wir bezeichnen der Kürze wegen diese Grösse als „Fall des Mondes gegen die Erde". Sie ist gleich 0,0014 Meter. Der Fall an der Erdoberfläche beträgt 4,9 Meter, ist also 3600 mal so gross, was genau mit der Thatsache übereinstimmt, dass der Mond vom Erdmittelpunkt 60 Erdhalbmesser entfernt ist; denn die Anziehung nimmt mit dem Quadrat der Entfernung ab. Will man nun beispielsweise die Masse Jupiter's mit derjenigen der Erde vergleichen, so hat man in dem „Fall eines Jupitermondes" gegen Jupiter ein genaues Mass. Dieser ist z. B. für den zweiten Mond gleich 0,158 Meter in der Entfernung von 89700 geogr. Meilen vom Jupitermittelpunkt. Da nun der Mond 52 000 geogr. Meilen von der Erde entfernt ist und die Anziehungskraft eines Himmelskörpers dem Quadrat der Entfernung umgekehrt proportional ist, so würde der Fall jenes Jupitermondes nach dem Jupiter in dieser Entfernung grösser sein; er würde den Werth 0,471 Meter erhalten. Während also der Fall gegen die Erde in der Entfernung des Mondes 0,0014 Meter beträgt, ist er in gleicher Entfernung von Jupiter 0,471 Meter; er ist also 336 mal so gross; somit ist auch die Masse Jupiter's 336 mal so gross als diejenige der Erde. Zech, Himmel und Erde. München 1870. S. 141—143.

seiner Bahnebene; daher ist seine Tropenzone nur 6 Grad breit, und seine Polarkreise entfernen sich nur je 3 Grad von den Polen.

Jupiter erfreut sich des Anblickes von vier Monden; man sollte also meinen, dass seine Nächte prächtig erhellt wären. In der That haben Astronomen behauptet, dass vor lauter Mondlicht die Pracht des Sternenhimmels vom Jupiter aus nicht genossen werden könnte. Diese Vermuthung ist indessen völlig verkehrt. Der erste und innerste Mond des Jupiter erscheint, von diesem Planeten aus gesehen, ein wenig grösser als unser Trabant; der zweite Mond hat nur einen halb so grossen scheinbaren Durchmesser wie Luna; der dritte (von allen in Wirklichkeit der grösste) kommt scheinbar dem zweiten gleich; der vierte aber hat einen scheinbaren Durchmesser von einem Viertel des lunaren. Würden die vier Scheiben der Jupitersatelliten in eine einzige vereinigt, so hätte diese den anderthalbfachen scheinbaren Durchmesser wie unser Mond; allein da sie fünfmal soweit von der Sonne entfernt sind wie dieser und somit nur $^1/_{25}$ von der Besonnung unseres Trabanten empfangen, so kann der Lichtschein, den sie nach dem Jupiter zurückwerfen, nur $^1/_{16}$ unseres Vollmondlichtes betragen. Nichts in ihren Bewegungen verhindert sie, zu gleicher Zeit am Himmel des Jupiter zu erscheinen; allein in diesem Falle kann nur ein einziger von den inneren drei Monden voll gesehen werden; die anderen erfahren eine Abschwächung durch Lichtphasen. Ferner erleiden die drei inneren Monde immer, wenn sie voll sein sollten, eine Verfinsterung; bei dem vierten ist dies auch die Regel; doch entwischt er wegen seiner grösseren Entfernung öfter dem Schattenkegel des Hauptkörpers. Die beiden inneren Trabanten werden jedesmal über zwei Stunden lang verfinstert; somit leuchten sie, da die Nacht auf dem Jupiter nur fünf Stunden dauert, überhaupt nur wenige Stunden am Himmel.

Auf mehr als 5 Erdenabstände von der Sonne entfernt erhält Jupiter, wie bereits oben bemerkt, von dieser nur 0,036 (= $^1/_{28}$) der irdischen Besonnung. Schon deswegen würde er wohl niemals eine geeignete Stätte für Erweckung organischen Lebens sein. Englische Philosophen haben in teleologischem Eifer ausfindig gemacht, dass es dennoch auf dem Jupiter so warm sein könne wie auf Erden, wenn er eine 5 Centimeter mächtige, mit Schwefeläther gesättigte Atmosphäre besässe. Diese würde nämlich alle Strahlen der Sonne fast ungeschwächt hindurch gehen lassen, aber 35 Procent der vom Boden ausgestrahlten Wärme zurückbehalten. Indessen dürfte es noch sehr fraglich sein, ob selbst unter den angenommenen Verhältnissen $^1/_{28}$ der irdischen Besonnung ausreichen würde zur Erweckung und Erhaltung organischen Lebens, da am Aequator des Jupiter die Sonnenwärme nur

soviel Intensität besitzt wie etwa jenseits des 86. Breitengrades auf Erden. Uebrigens deutet nichts auf die Existenz einer derartigen Lufthülle hin.

Wie steht es nun thatsächlich mit der Jupiter-Atmosphäre? Ohne Zweifel ist eine solche vorhanden; auch wissen wir, dass sie im allgemeinen von derselben chemischen Zusammensetzung ist wie die irdische. Das Jupiterspectrum zeigt nämlich zahlreiche Absorptionsstreifen, welche mit denen des Sonnenspectrums zusammenfallen; in dem Bereiche des Roth kommen jedoch auch etliche starke Linien vor, welche der Erdatmosphäre fremd sind, welche also andeuten, dass die Jupiter-Atmosphäre Gase und Dämpfe enthält, die sich in der irdischen Lufthülle nicht vorfinden. Indessen können jene dem Jupiterspectrum eigenartigen Linien auch eine Folge davon sein, dass das Mischungsverhältniss der Gase ein anderes ist als in unserer Atmosphäre. Es wäre sogar denkbar, dass bei gleichem Mischungsverhältniss und nur anderen Temperatur- und Druckverhältnissen, die ja auf dem Jupiter gegeben sind, das Absorptionsspectrum des Gasgemisches in dieser Weise verändert würde [1]).

Jupiter erscheint uns beständig in Wolken gehüllt, deren Gestalt sich fortwährend verändert. Nur die Tropenzone oder der mittlere Gürtel des Planeten lässt sich als Ganzes stets unterscheiden. An ihren beiden Polarrändern ist diese Zone dunkel gesäumt, und jenseits dieser Säume folgt auf der nördlichen Hälfte gewöhnlich ein doppelter heller Streifen, auf der südlichen ein einfacher breiter, heller Streifen in den Räumen, die man die Passatgürtel nennen könnte. Diese Parallelbänder wechseln sehr rasch, oft im Laufe von ein paar Stunden, ihre Breite; allein es bleibt immer schwierig zu trennen, was eine wirklich plötzliche physische Veränderung gewesen ist und was nur optisch durch die rasche Umdrehung verursacht wurde, indem neue Regionen des Jupiter in das Gesichtsfeld eintraten, während andere verschwanden. Im Jahre 1869 bemerkte T. W. Webb auf dem bräunlichen oder gelblichen Hintergrunde nach den dunklen Säumen der Tropenzone zu wie ausgewaschene Lichter in einer Aquarellmalerei wolkenförmige, meist runde, ausgebauchte Bildungen, bisweilen ein wenig nach Osten gerichtet, dann auch wieder schleifenförmig oder guirlandenartig geordnet. Zeitenweise konnte man deren 16 bis 18 auf der Aequatorialzone zählen. An einem Abend, am 16. November, waren jedoch merkwürdiger Weise nur 6 grössere sichtbar, und diese bildeten eine Brücke mit Pfeilern und Bogen (Fig. 14a). In der nächsten Nacht um die nämliche Zeit, als sich der Planet etwa 150 Längengrade um seine Axe gedreht hatte, also beinahe seine

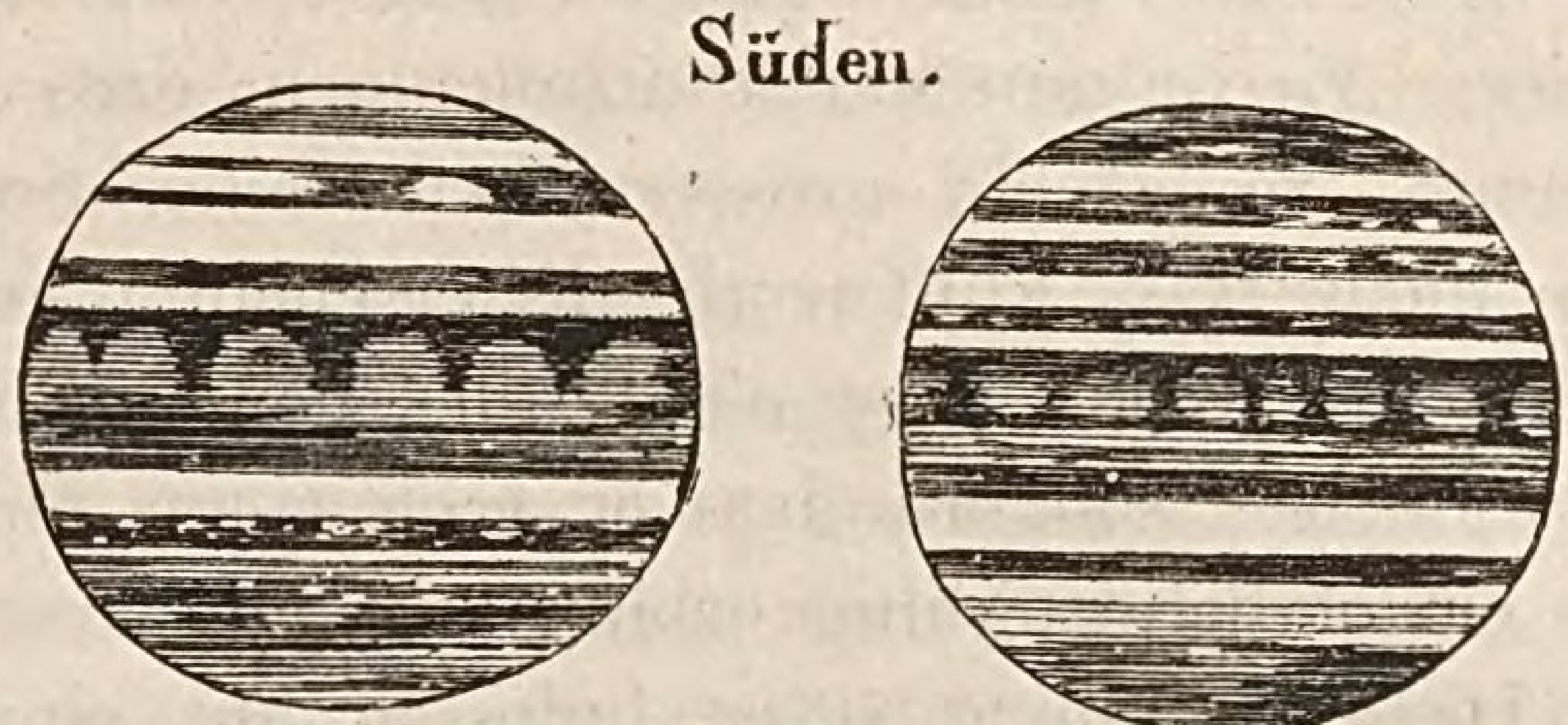
[1]) Vogel in Poggendorff's Annalen, Bd. CLVIII (1876), S. 467.

andere Halbkugel zeigte, waren ein halbes Dutzend elliptischer heller Flecken zu sehen, die auf dem dunklen Hintergrund wie gewölbte Körper erschienen (Fig. 14b) [1]).

Dass jene hellen, in steter Umbildung begriffenen Massen wolkenähnliche Gebilde sind, ist wohl kaum zu bezweifeln. Vielfach hat man nun die dunklen, zonenartigen Streifen, die quer über seine Scheibe ziehen, für den festen Kern des Planeten gehalten, welcher durch Oeffnungen in den Wolken sichtbar werden sollte. In diesem Falle müssten jedoch die hellen Zonen am Rande ein wenig die dunklen überragen, wenn das Luftmeer besonders tief wäre; doch ist hiervon nichts zu bemerken. Die oben geschilderten Erscheinungen, insbesondere die jähen Veränderungen in seiner Lufthülle, hinterlassen vielmehr den Eindruck, dass Jupiter, der uns im Vergleich zu der stark verdichteten Erde als etwas Unfertiges und Jugendliches erscheint, noch eine glühende Masse sei, siedend, brodelnd und beständig Dämpfe ausstossend, welche in Folge der hohen Drehungsgeschwindigkeit als parallele Zonen oder Bänder an der Planetenscheibe gesehen werden. Wie Mars der Erde, so ist Jupiter der Sonne am ähnlichsten; ja, es ist uns verstattet anzunehmen, dass dieser Planet einen merklichen Betrag von Wärme nach seinen Trabanten ausstrahlt. Doch sind die Jupiterwolken keineswegs ein so stark und selbstleuchtender Lichtmantel wie die Sonnenwolken, woraus wir schliessen dürfen, dass die Eigenwärme des Jupiter nicht völlig hinreicht, solche Stoffe, die in flüssigem Zustand weiss glühen, in die Gasform überzuführen.

Fig. 14a. Fig. 14b.

Süden.



a Norden. b

Die Gluthflüssigkeit Jupiter's lässt sich auch aus den ihm eigenen Lichtverhältnissen ableiten. Da bei bekannter Grösse und Entfernung eines Planeten von der Sonne die Menge des Lichtes bekannt ist, welche der Planet erhält, und da ferner die Lichtmenge, welche er uns zusendet, gemessen werden kann, so lässt sich auch die Lichtmenge berechnen, welche gleich grosse Flächen verschiedener Planeten bei gleichem Sonnenabstande zurückwerfen würden, d.h. ihre lichtreflectirende

[1]) Ausland 1870, S. 502.

Kraft. Zöllner's photometrische Untersuchungen [1]) haben uns gelehrt, dass Jupiter der Erde zwar nicht mehr Licht zusendet, als er von der Sonne empfängt, doch aber verhältnissmässig weit mehr Licht als z. B. Mars oder unser Mond, wenn sie sich an der Stelle des Jupiter bewegen sollten. Mars beispielsweise giebt nur ein Viertel von dem empfangenen Sonnenlicht zurück, der Mond ein Achtel, Saturn die Hälfte, Jupiter dagegen drei Fünftel [2]). Jupiter sendet soviel Licht aus wie eine gleich grosse Kugel von Quecksilber oder weissem Papier. Es ist nun kaum anzunehmen, dass Jupiter soviel Sonnenlicht reflectirt, zumal ein grosser Theil seiner Scheibe theils grau, theils gelb, theils blass kupferroth uns erscheint; somit ist Grund vorhanden zu der Annahme, dass nicht alles von ihm kommende Licht zurückgeworfen ist, sondern dass er auch einen Theil eigenes Licht abgiebt, dass er folglich gewaltig erhitzt sein muss.

Diese Annahme stösst indessen auf einige Schwierigkeiten. Die Schatten der Monde auf der Jupiterscheibe erscheinen nämlich völlig schwarz; doch entsteht dieser Eindruck wohl nur durch den Contrast zwischen der hellen und der verdunkelten Fläche. Ferner werden die Monde, sobald sie in den Jupiterschatten treten, für uns völlig verfinstert. Das Licht, welches sie von dem Planeten empfangen, ist daher jedenfalls ein sehr schwaches. Hierfür spricht auch der mit Hilfe des Spectroskops sehr sicher geführte Nachweis, dass Wasserdampf in der Atmosphäre Jupiter's enthalten ist; demnach herrschen dort Temperaturen, welche eine namhafte Leuchtkraft ausschliessen.

Immerhin ist es sehr wahrscheinlich, dass Jupiter zur Zeit noch kein geeigneter Schauplatz für organische Regungen ist, und wir dürfen zweifeln, ob er es jemals werden kann.

Noch mehr gilt dies von Saturn.

[1]) Photometrische Untersuchungen mit besonderer Rücksicht auf die physische Beschaffenheit der Himmelskörper. Leipzig 1865 — und: Photometrische Untersuchungen über die physische Beschaffenheit des Planeten Mercur in Poggendorff's Annalen, Jubelband (1874), S. 624—643.

[2]) Zöllner macht folgende Werthangaben über die scheinbare Albedo oder lichtreflectirende Kraft der Planeten, sowie über die einiger irdischer Stoffe (Pogg. Ann., l. c. S. 641. 636 f.):

Mercur	0,114	Frisch gefallener Schnee	0,783
Venus	0,623	Weisses Papier	0,700
Mond	0,119 ± 0,003	Weisser Sandstein . . .	0,237
Mars	0,267 ± 0,016	Thonmergel	0,156
Jupiter	0,624 ± 0,036	Quarzporphyr	0,108
Saturn	0,498 ± 0,025	Feuchte Ackererde . .	0,079
Uranus	0,641 ± 0,054	Dunkelgrauer Syenit . .	0,078
Neptun	0,465 ± 0,037		

Sein mittlerer Durchmesser beträgt 15507 geogr. Meilen; er ist also über 9 mal so gross als derjenige der Erde. Das Volumen Saturn's verhält sich zu dem unseres Planeten wie 735 zu 1. Verglichen mit Wasser ist die Dichtigkeit Saturn's 0,72; er würde somit nicht bloss in Wasser, sondern sogar in raffinirtem Petroleum (specif. Gewicht 0,78 bis 0,82) noch schwimmen. Setzen wir die Dichtigkeit der Erde gleich 1, so ergiebt sich für die Saturn's 0,13. Seine Masse ist daher nur 95 mal so gross als die der Erde. Ein irdisches Centnergewicht würde auf Saturn einen Druck von 1,17 Centner auf seine Unterlage ausüben.

Seinen Lauf um die Sonne vollendet er in 10759 Tagen 5 Stunden 16 Minuten oder in 29 Jahren 166 Tagen 23,25 Stunden. Aus der Beobachtung einzelner Flecken hat man geschlossen, dass er sich in 10 Stunden 29 Minuten einmal um seine Axe dreht.

Die Excentricität seiner Bahn beträgt 0,056; sein Abstand von der Sonne variirt zwischen 186¼ und 208¼ Millionen geogr. Meilen. Da Saturn von der Sonne ziemlich 10 mal soweit entfernt ist als die Erde, so empfängt jeder Raumtheil des Saturn von der Sonne nur 0,011 des Lichtes und der Wärme wie ein entsprechender auf Erden. Die Ebene des Saturnäquators bildet mit der Saturnbahn einen Winkel von 28° 40′; somit ist die Tropenzone des Saturn verhältnissmässig grösser als die irdische und ziemlich so gross wie die martialische.

Vor allen anderen Planeten ist Saturn durch einen Ring ausgezeichnet, welcher in der Ebene des Saturnäquators denselben freischwebend umgiebt. Dieser Ring ist im Vergleich zu seiner Ausdehnung sehr dünn und zerfällt eigentlich in drei von einander völlig getrennte einzelne Ringe, von denen der mittlere am hellsten ist. Man nimmt fast allgemein an, dass er aus einer Flüssigkeit besteht und dass er sich in einer solchen Entfernung von Saturn befindet, in welcher die vorausgesetzte Wärmestrahlung die Existenz einer zur Condensation erforderlichen Temperatur gestattet. Bei fortschreitender Abkühlung Saturn's muss diese Grenze seiner Oberfläche stets näher rücken, und damit erklärt sich die Entdeckung Struve's, dass sich der innere Ringrand der Saturnoberfläche nähere, in einfacher Weise. Der Saturnring bewirkt auf der Oberfläche des Planeten eine Verfinsterung, die für die entsprechenden Breiten von Paris und London, wenn solche Städte auf dem Saturn lägen, fünf und für die von Madrid volle sieben Erdenjahre ohne Unterbrechung währen würde.

Saturn hat unter allen Planeten das grösste Gefolge; denn er besitzt ausser dem Ring noch acht Trabanten. Diese bedecken am Saturnhimmel einen scheinbaren Raum, der das Sechsfache der Mondscheibe beträgt, der Reihe nach nämlich das 2-, 1-, 1¼-, ¾-, ⅝-,

$^1/_3$-, $^1/_{100}$- und $^1/_{40}$ fache derselben. Da sie aber nur $^1/_{100}$ soviel Sonnenlicht empfangen wie Luna, so können sie, wenn sie sämmtlich voll beleuchtet am Saturnhimmel erscheinen, nur $^1/_{16}$ der lunaren Lichtwirkung äussern.

Das Spectrum des Saturn steht in vollster Uebereinstimmung mit dem des Jupiter. Saturn ist also gleichfalls von einer mit Wasserdampf erfüllten Atmosphäre umgeben, die jedoch neben irdischen Stoffen vielleicht auch eigenthümliche enthält.

Saturn ist von Sir William Herschel, von Schröter, Kitchener, neuerdings auch von Webb, Airy, Coolidge nicht als eine abgeplattete Kugel, sondern als ein Quadrat mit abgerundeten Ecken gesehen worden. Da er in den verschiedensten Instrumenten sich übereinstimmend so verzerrt zeigte, so darf nicht etwa einem Fehler der Gläser jener räthselhafte Anblick zugeschrieben werden, zumal diese, sobald sie auf Jupiter gerichtet wurden, ein völlig rundes Scheibenbild erkennen liessen. Wohl hat man gedacht, dass jener zeitweise eintretende „vierschultrige“ Anblick nur auf einer Sinnestäuschung beruhe, die sich einstelle, so oft der Ring des Planeten henkelförmig erscheine; allein die Verzerrung, die als eine Abflachung an den beiden Aequatorial- und den beiden Polarrändern sich äussert, wurde auch wahrgenommen zur Zeit, wo der Ring nicht sichtbar war, d. h. wo die Gesichtslinie des irdischen Beobachters in die Ringebene fiel. Wir sind also gezwungen uns vorzustellen, dass der Saturnkörper, den wir uns als stark erhitzt und flüssig oder elastisch denken müssen, den stärksten Gestaltenwandelungen ausgesetzt ist; letztere mögen vielleicht von seinen Monden hervorgerufen werden, die sich nicht in derselben Ebene wie der Planet, sondern um 30 Grad gegen sie geneigt bewegen.

Auch Saturn ist somit sicher ohne organisches Leben.

Mit dem blossen Auge bereits nicht mehr wahrnehmbar ist Uranus. Er wurde am 13. März 1781 von Sir William Herschel entdeckt.

Sein Durchmesser (= 7466 geogr. Meilen) übertrifft den Erddurchmesser um das $4^1/_3$ fache; somit ist sein Volumen 82 mal so gross als dasjenige der Erde. Verglichen mit Wasser ist seine Dichtigkeit 0,92. Die Dichtigkeit der Erde verhält sich also zu der des Uranus wie 1 : 0,16. Seine Masse ist 13 mal so gross als diejenige der Erde; somit wiegt ein irdisches Centnergewicht auf der Uranus-Oberfläche nahezu 70 Pfund.

Die siderische Umlaufszeit des Uranus beträgt 30 686 Tage 19 Stunden 40,8 Minuten oder 84 Jahre 5 Tage 19 Stunden 41,6 Min.

Die Excentricität seiner Bahn ist 0,0466. Seine mittlere Entfernung von der Sonne ist 19,18 mal so gross als der Abstand der

Erde von der Sonne, also gleich 396½ Millionen geogr. Meilen. Vom Uranus aus gesehen besitzt die Sonne bloss $^1/_{370}$ ihrer scheinbaren irdischen Grösse; dem entsprechend sind auch die Sonnenkräfte, die Uranus empfängt, ausserordentlich gering. Wir wissen nicht, wie die Axe des Uranus zu seiner Bahnebene steht; sollte jedoch (nach Analogie des Jupiter) seine Aequatorialebene mit der Umlaufsebene des zweiten und vierten Mondes (es giebt deren vier, nach der Annahme mancher Astronomen sogar sechs, von denen jedoch nur die beiden erstgenannten öfter beobachtet worden sind,) zusammenfallen, dann würde diese Neigung nicht 23½ Grad wie bei der Erde, sondern gegen 79 Grad betragen, also noch ein wenig ungünstiger sein, als es wahrscheinlich die Stellung der Venusaxe ist; denn die Bahnebene der Uranusmonde durchschneidet fast rechtwinklig die Uranusbahn. Die Uranusmonde besitzen ferner eine rückläufige Bewegung — der einzige bekannte Fall im ganzen Sonnensystem — und wenn sich der Planet in gleichem Sinne drehen sollte, dann würde sich die Sonne an seinem Himmel scheinbar von West nach Ost bewegen.

Das Licht des Uranus ist so schwach, dass im Spectrum desselben Fraunhofer'sche Linien nicht erkannt werden können; doch deuten mehrere im Uranusspectrum sichtbare Bande auf das Vorhandensein einer den Planeten umgebenden Lufthülle hin. Welche Stoffe indessen eine solche Absorption herbeiführen, lässt sich nach dem jetzigen Stande der Wissenschaft nicht angeben. Eine der Banden des Uranusspectrums fällt mit einer solchen in dem Spectrum des Jupiter und Saturn genau zusammen.

Die geringe specifische Schwere des Uranus, sowie seine grosse lichtreflectirende Kraft (vergl. S. 94) und die Eigenthümlichkeiten seines Spectrums lassen uns vermuthen, dass er gluthflüssig und noch in schwachem Grade selbstleuchtend, somit auch ohne organische Belebung ist. Und selbst wenn seine Oberfläche erstarrt wäre, dürfte er wohl kaum organisch belebt sein, da ihm die Sonne nur ausserordentlich wenig Licht und Wärme zusendet.

Am unsichersten sind unsere Kenntnisse über denjenigen Planeten, der von der Sonne am weitesten entfernt ist: über Neptun.

Seine Entdeckung gehört zu den schönsten Triumphen der Wissenschaft. Wir müssen zur Erklärung hier einschalten, dass die Bahn eines Planeten um die Sonne eine rein elliptische Gestalt besitzen würde, wenn nur die gegenseitig anziehenden Kräfte der Sonne und des Planeten in's Spiel kämen. Allein die Planeten ziehen sich wieder unter einander an und bewirken dadurch Störungen ihrer elliptischen Bahnen. Solche Störungen hatte man an der Uranusbahn wahr-

genommen, aber ihren Urheber nicht gefunden. Nun berechnete Leverrier auf Grund dieser Störungen den Ort des theoretisch geforderten transuranischen Planeten, und wirklich entdeckte Galle in Berlin, welchem ausgezeichnete Instrumente und die vortreffliche Sternkarte von Bremiker zu Gebote standen, am 23. September 1846 den neuen Planeten Neptun an der von Leverrier angegebenen Stelle.

Sein Durchmesser hat eine Länge von 8400 geogr. Meilen; seinRauminhalt ist also 118 mal so gross als derjenige der Erde. Auch er ist gleich Uranus leichter als das Wasser; denn sein specifisches Gewicht ist 0,90. Die Dichtigkeit der Erde verhält sich demnach zu der des Neptun wie 1 : 0,16. Seine Masse übertrifft die der Erde 18,9 mal; ein terrestrisches Centnergewicht würde also auf der Neptunsoberfläche nur einen Druck von 79 Pfund auf seine Unterlage ausüben.

Seinen Weg um die Sonne vollendet Neptun in 164 Jahren 225,7 Tagen. Ein Trabant begleitet ihn.

Die Excentricität seiner Bahn, nächst derjenigen der Venus die kleinste, ist 0,009. Sein Abstand von der Sonne (600 Millionen geogr. Meilen) ist 30 mal so gross als die Entfernung der Erde von der Sonne. Von Neptun aus gesehen besitzt die Sonne nur $^1/_{900}$ ihrer scheinbaren irdischen Grösse, d. h. sie ist nur wie ein heller Stern sichtbar, und die Sonnenkräfte (Licht und Wärme) sind daher in Neptunsfernen auf ein Minimum beschränkt.

Das Spectrum dieses Planeten hat grosse Aehnlichkeit mit dem des Uranus; es ist wie dieses durch mehrere breite, dunkle Streifen charakterisirt. Auch für Neptun darf man annehmen, dass seine Atmosphäre eine starke Absorption auf das Sonnenlicht ausübt.

Neptun erscheint uns aus denselben Gründen wie Uranus ungeeignet, organisches Leben zu beherbergen.

Nachdem wir in dem Vorhergehenden das weite Gebiet unseres Sonnensystems durchwandert haben, wenden wir uns nun zurück zu unserer Erde und betrachten noch ihren allezeit getreuen Begleiter: den Mond.

Sein Durchmesser (= 472 geogr. Meilen) ist ungefähr $^3/_{11}$, seine Oberfläche $^3/_{40}$ und sein Volumen $^2/_{97}$ von den entsprechenden Grössen der Erde. Sein Gewicht ist 3,20 mal so gross als eine seinem Volumen entsprechende Wassermenge. Die Dichtigkeit der Erde verhält sich also zu der des Mondes wie 1 : 0,57. Setzen wir die Erdmasse gleich 1, so ist die des Mondes nur 0,0117. Ein irdischer Centner wiegt demnach auf der Mondoberfläche nur 16 Pfund. Während ein frei fallender Körper in der ersten Secunde auf der Sonne einen Weg von 137,9 und auf derErde einen solchen von 4,9 Meter zurücklegt, würde er auf dem Monde in der ersten Secunde nur 0,78 Meter weit gelangen.

Die siderische Umlaufszeit des Mondes (die Zeit, in welcher der Mond einen Umlauf um die Erde vollendet,) beträgt 27 Tage 7 Stunden 43 Minuten 11,5 Secunden, die synodische Umlaufszeit (die Zeit zwischen zwei auf einander folgenden Conjunctionen des Mondes und der Sonne) 29 Tage 12 Stunden 44 Minuten 2,9 Secunden. Während nämlich der Mond, von einer Conjunction mit der Sonne ausgehend, seine Bahn um die Erde beschreibt, rückt auch die Erde in ihrem Laufe um die Sonne weiter; er muss sich deshalb noch über den angenommenen Ausgangspunkt seiner elliptischen Bahn hinausbewegen, um wieder mit der Sonne in Conjunction zu stehen.

Die mittlere Entfernung des Mondmittelpunktes von der Erdmitte ist gleich 51 535 geogr. Meilen. Die Excentricität der Mondbahn ist 0,055. Da der Mond nicht bloss die Erde, sondern mit der Erde zugleich die Sonne umkreist, so ist die Bahn des Mondes im Raum oder vielmehr in Beziehung auf die Sonne eine Epicycloide.

Auffallend ist es, dass der Mond der Erde immer dasselbe Antlitz zukehrt, während die andere Mondhälfte beständig von der Erde abgewandt ist. Daraus geht hervor, dass er in derselben Zeit, in welcher er sich um die Erde bewegt, eine Drehung um seine Axe ausführt. Dennoch ist nicht immer genau ein und derselbe Punkt des Mondkörpers der Erde am nächsten; es findet vielmehr eine kleine Schwankung (Libration) statt, indem der grösste Kreis, welcher die uns sichtbare Mondhälfte begrenzt, sowohl in der Richtung von Ost nach West, als auch in der Richtung von Nord nach Süd kleine Verschiebungen erleidet.

Die erste dieser Schwankungen, die Libration der Länge, rührt daher, dass der Mond eine elliptische Bahn um die Erde beschreibt, während er seine Axendrehung stets mit gleichförmiger Geschwindigkeit vollzieht. Das zweite Kepler'sche Gesetz lehrt uns über die Planetenbewegung: In gleichen Zeiten werden von dem Leitstrahl (radius vector) gleiche Flächenräume beschrieben. Hieraus ergiebt sich, dass die Geschwindigkeit des Mondes in der Erdnähe am grössten, in der Erdferne am geringsten ist. Da nun die Axendrehung des Mondes stets eine gleichförmige ist, so hat sich, wenn der Mond auf seiner elliptischen Bahn verhältnissmässig langsam fortschreitet, die der Erde anfangs zugekehrte Seite im Sinne der Mondrotation zu weit bewegt. Rückt nun der Mond auf seiner Bahn wieder schneller vorwärts, so zeigt sich die ursprüngliche Seite, und wenn die Beschleunigung fortdauert, erscheint die Mondscheibe in entgegen gesetzter Richtung verschoben. Die Libration der Länge kann bis zu 7° 53′ auf jeder Seite wachsen.

Die Libration der Breite ist eine Folge davon, dass die Rotationsaxe des Mondes nicht ganz rechtwinklig auf seiner Bahnebene steht, sondern im Mittel um 6° 38′ gegen dieselbe geneigt ist. Daher liegen die Mondpole nicht im Rande der Mondscheibe, sondern sind uns abwechselnd etwas zu- und abgewandt; wir sehen also bald einige Grade über den Nordpol, bald einige Grade über den Südpol hinaus.

Dass der Mond zu einer Bewegung um die Erde auf seiner Bahn gerade soviel Zeit braucht als zu einer Axendrehung oder mit andern Worten, dass er, abgesehen von den erwähnten kleinen Schwankungen, der Erde immer dieselbe Seite zukehrt, kann nicht blosser Zufall sein. Hansen kam aus der sorgfältigsten Untersuchung der Mondbahn zu dem Schluss, dass die von uns abgewandte Mondhälfte dichter sein müsse als die uns zugekehrte und dass darin jene stetig gleichartige Stellung des Mondes gegen die Erde begründet sei.

Hansen legt dies in folgender Weise dar: Denkt man sich den Mond wie von einer Schnur gehalten, um die Erde schwingend, seine Masse noch nicht völlig erstarrt und aus Bestandtheilen verschiedener Schwere zusammengesetzt, so werden sich die schwereren Theile nicht im geometrischen Mittelpunkt, sondern ausserhalb desselben und zwar an einem von der Erde weiter entfernten Punkte sammeln, so dass also der Schwerpunkt des Mondes nicht im Mittelpunkt der Sphäre zu suchen wäre, sondern näher an der von uns abgekehrten Oberfläche und zwar (nach Hansen's Berechnung) etwa 8 geogr. Meilen jenseits des Centrums der Mondkugel.

Aus dieser Verschiebung des Schwerpunktes würden sich weitere wichtige Folgen ergeben, falls der Mond eine Atmosphäre besitzen sollte. Alle Körper im flüssigen oder gasförmigen Zustande, welche die Oberfläche eines Weltkörpers bedecken, suchen die niedrigsten Räume zu erreichen, das heisst aber nicht Räume, welche dem mathematischen Centrum, sondern dem Mittelpunkt der Gravitation am nächsten liegen, und in gleichem Abstand von diesem müssen sie im allgemeinen gleiche Dichte haben. Sie würden also in dem angenommenen Falle beim Monde nach der uns abgekehrten Hälfte geflossen sein und ihn mit einer excentrischen Luft-, resp. Wasserhülle bedeckt haben. Beschreibt man um den Schwerpunkt des Mondes als Mittelpunkt eine Kugel, deren Halbmesser 8 geogr. Meilen grösser ist als der Mondhalbmesser, so würde dieselbe diesseits gerade noch die Mondoberfläche berühren, auf der anderen Seite aber sich 16 geogr. Meilen über dieselbe erheben. Hat nun der Mond eine Atmosphäre, so ist diese diesseits an demjenigen Punkt, welcher der Erde am nächsten liegt, nicht dichter wie auf dem diametral entgegen gesetzten jenseitigen Punkt in einer Höhe von 16 geogr. Meilen. Wenn wir daher auf der uns

zugekehrten Mondseite die Atmosphäre vermissen, so erscheint zunächst die Möglichkeit nicht ausgeschlossen, dass auf der uns unsichtbaren Mondseite der Luftdruck ebenso mächtig ist wie der an der Oberfläche unserer Meere, dass hier Wolken über die Berge dahinziehen und Meere die Tiefen erfüllen.

Indess wollen wir uns nicht in Speculationen über denjenigen Theil der Mondoberfläche verlieren, den zu erblicken uns Sterblichen nicht vergönnt ist. Wir werden uns in dem Folgenden ausschliesslich mit der uns zugewandten Mondseite beschäftigen.

Diese hat ein äusserst bewegtes Relief. Wenn man sie durch ein Fernrohr betrachtet, so zeigen sich unverkennbare Erhöhungen und Vertiefungen, Berge und Thäler. Am deutlichsten ist die Zeichnung am Rande der Lichtphasen, also in denjenigen Mondgegenden, wo die Sonne eben auf- oder untergeht, weil hier durch stärkere Schattenentwicklung das Bild scharf markirte Züge erhält. Aus der Länge der Schatten wurden bereits die Höhen einiger Mondberge gemessen; so hat man beispielsweise für die Gebirge Dörfel und Newton Höhen von 7470, resp. 7150 Metern gefunden, Höhen, welche die Montblanchöhe noch um das $^1/_2$fache übersteigen. Die zahlreichen Ringgebirge sind offenbar erloschene Vulcane. Die Mondoberfläche ist also einst der Schauplatz heftigster vulcanischer Thätigkeit gewesen; doch scheint jetzt ein Zustand der Ruhe eingetreten zu sein, obwohl Schmidt an dem Krater Linné, sowie an einer anderen Stelle und neuerdings auch Herm. J. Klein[1]) westnordwestlich von dem Krater Hyginus und bei dem Mare Nectaris Veränderungen beobachtet haben, die wahrscheinlich auf Kratereinstürze zurückzuführen sind.

Ist nun die Mondoberfläche in früheren Zeiten wirklich der Ort mächtiger vulkanischer Verheerungen gewesen, so muss der Mond eine Luft- und Wasserhülle besessen haben; denn ohne Luft und Wasser können wir uns keine vulkanischen Erscheinungen denken. Gerade dieses Verschwinden von Luft und Wasser auf der einen Mondseite macht es uns wahrscheinlich, dass auch auf der anderen Mondseite ein solcher Vorgang stattfand, dass sie also ebenfalls dieser wichtigen Dinge entbehrt.

Nun wird jeder sofort die Frage aufwerfen: Warum sind Atmosphäre und Wasser auf dem Monde verschwunden? Es erklärt sich dies am einfachsten in folgender Weise: Unsere Erde hat bekanntlich in ihrem Inneren die höchsten Temperaturen; kein flüchtiger Stoff vermag tiefer als bis auf $^1/_{50}$ des Erdhalbmessers in das Erdinnere einzudringen, ohne in hoch erhitztem Zustande wieder an die Erdober-

[1]) Gaea 1878 (Bd. XIV), S. 433.

fläche getrieben zu werden. Da jedoch die Abkühlung des Erdballs ununterbrochen weiter fortschreitet, so werden Wasser und Luft immer tiefer nach dem Erdmittelpunkte eindringen, bis endlich vielleicht noch vor gänzlicher Erkaltung eine totale Aufsaugung dieser Elemente erfolgt. Bei völliger Erkaltung würden die Erdporen vollkommen hinreichen, um das Hundertfache sämmtlicher Meere des Erdballs und die ganze ihn umgebende Atmosphäre in sich aufzunehmen. Dieser Aufsaugungsprocess ist auf dem Monde wahrscheinlich bereits vollendet; da das Volumen desselben 49mal so klein ist als das der Erde, so musste sich dieser Vorgang dem entsprechend auf ihm viel rascher vollziehen als auf Erden.

Wir haben schon wiederholt darauf hingewiesen, dass der Mond keine Atmosphäre besitzt. Wodurch wird diese Thatsache bewiesen?

Wir machen zuerst darauf aufmerksam, dass die Schatten der Mondberge vollkommen schwarz sind. Wo sie hinfallen, ist nichts vom Detail der Landschaft zu erkennen, herrscht absolute Nacht, während im Schatten irdischer Dinge wegen der lichtzerstreuenden Eigenschaft der Luft immer noch Tageshelle sich findet. Ferner vermissen wir auf dem Mond jede Spur von einer Dämmerung. Somit fehlt ihm eine lichtbrechende Atmosphäre; auch entbehrt er grösserer Ansammlungen von Wasser, dessen Dämpfe ja schon allein eine Atmosphäre erzeugen würden. Diese Dämpfe müssten wir auf dem Monde um so entschiedener wahrnehmen, als Tag und Nacht auf ihm je 14mal 24 irdische Stunden dauern. In den ersten lunaren Nachmittagsstunden wird daher die Mondoberfläche so erhitzt, dass Wasser in's Sieden gerathen würde. Dann aber erschiene die Mondsichel nicht allezeit so blank geputzt; die Gegenwart des Wassers müsste sich dem Fernrohr und noch viel entschiedener dem Spectroskop verrathen, welches ja bereits auf dem unendlich weiter entfernten Uranus und Neptun die Gegenwart einer Dunstumhüllung angezeigt hat. Indessen stimmt das Spectrum des Mondes mit dem der Sonne völlig überein; die dunklen Linien erscheinen weder in Bezug auf ihre relative Intensität, noch auf ihre Zahl im Mondspectrum verändert [1]).

Ferner ist hervorzuheben, dass, wenn ein Fixstern mit dem Mondrande scheinbar in Berührung kommt, keine Spur von Lichtbrechung zu beobachten ist. Bei den Sternbedeckungen (Occultationen) durch die Mondscheibe erfolgt das Auslöschen und Wiederaufglänzen der Fixsterne genau in der mathematisch voraus berechneten Zeit, während, wenn der Mond eine lichtbrechende Atmosphäre hätte, der Stern später

[1]) A. Secchi, Die Sonne. S. 720.

verlöschen und früher wieder aufglänzen würde, weil wir ihn dann gleichsam um den Rand des Mondes herum noch erblicken müssten.

Die den Erdbewohnern sichtbare Halbkugel des Mondes besitzt also keine Atmosphäre. Keine Atmosphäre! — das ist ein bedeutungsvoller Ausspruch. Unsere Luft ist die Trägerin des Schalles; also würde auf dem Monde kein gesprochenes Wort gehört werden; kein Telephon würde sich dort wirksam erweisen. Ueber diese klanglose Stätte weht auch kein Wind; denn wo keine Luft erwärmt wird, entsteht auch kein Luftzug. Ebenso vermissen wir jegliche Wolkenbildung. Der Himmel erscheint dort nicht blau, sondern dunkel; auf dem schwarzen, stets gestirnten Taghimmel bewegt sich träge der glühende Ball der Sonne. Innerhalb einer Stunde ist die Sonne am irdischen Aequator für alle Punkte auf einer Strecke von 225 geogr. Meilen aufgegangen; am Mondäquator schleicht das Sonnenlicht nur 2 geogr. Meilen in der Stunde vorwärts. Da die Dämmerung fehlt, so wechselt heller Tag plötzlich mit finstrer Nacht. Ferner giebt es keine Jahreszeiten auf dem Mond, sondern Tag und Nacht sind zugleich Sommer und Winter. Von dem Moment an, wo ein Theil des Mondes beschienen wird, behält er zwei Wochen lang Tag. Man denke sich nun, welche Hitze auf dem Monde entstehen muss, wenn 14 Tage lang nie eine kühle Nacht die tropische Gluth unterbricht und niemals der Schatten einer Wolke diese Hitze mildert. Umgekehrt steigt die Kälte, wenn die Sonne Abschied genommen hat, ausserordentlich rasch, da keine Lufthülle und keine Wolkenbildung die Ausstrahlung hemmt, und übertrifft noch diejenige an unseren Polen; denn dorthin gelangen ja noch erwärmte Luftschichten aus niederen Breiten, während es auf dem Monde überhaupt keine Winde giebt. So dürfen wir also auf dem Monde kein organisches Wesen suchen; denn keine Pflanze vermöchte den Wechsel einer Siedetemperatur und einer hyperpolaren Kälte zu ertragen; sie fände auch keine Atmosphäre, die ihre Athmungsorgane in Bewegung setzte, und keinen Regen, welcher die mineralische Nahrung in geniessbarem Zustande ihr zuführte. Selbstverständlich würde auf dem Mond noch weniger animalisches Leben bestehen können. Der geistreiche Schleiden hat den Mond einen Schwächling genannt; man könnte noch hinzufügen, es sei die Leiche eines Schwächlings, unfähig Moos und Mücken zu ernähren, eine lautlose Einöde.

Das Endresultat, welches wir aus den vorhergehenden Betrachtungen gewinnen, lautet: Im Sonnensystem giebt es ausser der Erde nur zwei Körper, Venus und Mars, die wir als befähigt für Erweckung und Erhaltung organischen Lebens ansehen dürfen, wobei wir annehmen, dass dasselbe auf anderen Welten an ähnliche Voraussetzungen

gebunden ist wie auf Erden. Die Gesammtmasse dieser drei Planeten beträgt nur $^1/_{178\,000}$ der Masse aller Körper im Sonnensystem, ist also verschwindend klein gegen die letztere. Verwundert erhebt jeder Denkende die Frage: Wie kommt es, dass eine so riesenhafte Stoffmasse nothwendig war, um einem winzigen Theil die Vorbedingungen organischen Lebens zu verleihen? Giebt es doch selbst auf unserem kleinen Planeten noch weite Räume, welche sich wohl kaum jemals dazu eignen werden, animalisches oder vegetabilisches Leben zu beherbergen, wie die Polarlandschaften, die mit ewigem Schnee bedeckten Hochgebirgsgebiete und die Wüsten!

Doch nicht bloss in Bezug auf Stoff, sondern auch in Hinsicht auf lebendige Kraft scheint die Natur wenig haushälterisch zu sein. Wir haben schon in einem früheren Abschnitt gezeigt, dass die wichtigste physische Lebensquelle der Erde die Licht und Wärme spendende Sonne ist. Nun besitzt eine vom Sonnenmittelpunkt aus construirte Kugel, deren Radius der mittleren Entfernung der Erde von der Sonne gleich ist, eine 2 300 000 000 mal so grosse Oberfläche als die von der Sonne aus betrachtete Erdscheibe; somit empfängt unser Planet von der Sonne nur ein ausserordentlich kleines Strahlenbündel, nämlich $^1/_{2\,300\,000\,000}$ der gesammten Licht- und Wärmemenge, welche die Sonne aussendet. Der ungeheure Rest, von dem nur ein sehr geringer Theil noch den anderen Planeten zukommt, strömt hinaus in den Weltraum und leistet keine anderen Dienste, als die Temperatur des Weltäthers ein wenig zu erhöhen. Ferner erweisen sich — menschlich gesprochen — nicht einmal jene relativ unbedeutenden Licht- und Wärmekräfte, welche die Planeten erhalten, überall als zweckmässig; sie sind jedenfalls in Mercursnähe zu gross, jenseits der Marsbahn aber zu gering zur Erweckung und Erhaltung organischen Lebens auf den Planeten. Immerhin müssen wir noch von einer Gunst der Verhältnisse sprechen, dass unsere Erde auf so weiten Räumen ein passendes Mass von Sonnenkräften empfängt; dies würde in viel geringerem Grade der Fall sein, wenn z. B. die Erdaxe, wie bei Jupiter, nahezu senkrecht auf der Ebene der Erdbahn stünde, wobei wir des Wechsels der Jahreszeiten, eines trefflichen Verbreiters organischen Lebens, verlustig gingen, oder wenn sie nur wenig gegen dieselbe geneigt wäre, wie bei der Venus, was vernichtende Temperaturgegensätze herbeiführen würde.

Wir lieben es, die gesammte Körperwelt so anzusehen, als diene sie nur der Entwicklung von Organismen auf Erden; die Bestimmung des Pflanzen- und Thierlebens aber suchen wir in nichts anderem als darin, dass es unserem eigenen Geschlechte möglichst grossen Nutzen gewährt. Wer einer derartigen Anschauung huldigt und sich bei der

Beurtheilung des Weltganzen lediglich von dem Nützlichkeitsprincip leiten lässt, dem muss es als eine namenlose Massen- und Kraftverschwendung erscheinen, wenn zur Belebung eines so kleinen Körpers, wie es unsere Erde ist, ein unermesslicher Aufwand von Mitteln erforderlich ist. Es muss ihm ähnlich vorkommen, wie wenn man des Nachts Rom anzünden lassen wollte, um bei dem Schein der Flammen auf der appischen Strasse einen verlorenen Thaler zu suchen. Dazu kommt, dass die organische Belebung nicht bloss räumlich, sondern auch zeitlich ausserordentlich beschränkt ist. Die Zeit, in welcher sich unser Planet aus der Masse des Urstoffes individualisirte und zur Aufnahme organischen Lebens rüstete, ist unendlich gross im Vergleich zu der Dauer der organischen Belebung. Die bisherige Menschengeschichte aber ist nur wie eine Welle in dem grossen Ocean der Zeiten. Wir bewundern es, wenn mit wenig Mitteln Grosses geleistet wird; in dem Weltall aber scheint mit einem ungeheuren Aufwand nur relativ Kleines erreicht zu werden. Wir erkennen hier deutlich, dass es ganz falsch ist, den menschlichen Zweckmässigkeitsmassstab an die Körperwelt zu legen. Nützlichkeit ist ein rein menschlicher Begriff, der auf den Kosmos gar nicht angewendet werden kann. Wir stehen hier vor einem für uns Menschen unlösbaren Räthsel und können nur sprechen: Jede Individualisirung des kosmischen Stoffes ist zunächst, und ihr Sein ist zugleich ihr Zweck. Ihre höhere Bestimmung bleibt uns Sterblichen verborgen.

War schon ein Zusammenwirken vieler günstiger Umstände unerlässlich, dass die Erde überhaupt bewohnbar wurde, so muss es uns geradezu wunderbar erscheinen, dass sich das organische Leben zu der denkbar richtigsten Zeit auf Erden entfaltete. Wunderbar dürfen wir dies deshalb nennen, weil sich zahlreiche von einander unabhängige Vorbedingungen für organische Belebung gleichzeitig begegneten, während doch durch das Ausbleiben einer dieser Bedingungen unser Planet sehr leicht zu ewiger Verödung hätte verurtheilt werden können. Wir wollen hier nur auf ein Zweifaches hinweisen. Die Sonne muss uns früher schwächer geleuchtet haben; andrerseits aber dürfte die Erde auch in Zukunft weniger Wärmekräfte empfangen, da die Sonne schon dem Abkühlungsprocesse verfallen ist. Nur deshalb weil die Erde zur rechten Zeit eine zweckentsprechende Stellung zur Sonne einnahm, wurde die organische Belebung unseres Planeten möglich. Ferner würde für sie niemals ein Zeitalter angebrochen sein, das den Organismen eine so reiche Entfaltung gestattete, wenn z. B. statt Venus, Erde und Mars ein einziger Planet aus der Summe ihrer Massen entstanden wäre, der dann wahrscheinlich noch nicht die erforderliche Dichtigkeit und Oberflächentemperatur besitzen würde, oder wenn statt

der Erde ein Schwarm von Asteroiden sich gebildet hätte, die wegen ihrer Kleinheit sicherlich keine Asyle für organische Regungen gewesen wären.

Die Erde erscheint also in der gegenwärtigen Verfassung des Sonnensystems auf eine geologisch kurze Dauer ungewöhnlich begünstigt für organische Belebung. Dass sich bei ihr alle Bedingungen für die Entwicklung von Organismen im richtigen Zeitabschnitt vereinigten, gestattete den Eintritt von Erscheinungen, die sich in anderen kosmischen Systemen nicht so leicht wiederholen werden. Wir können und müssen daher auf unseren Planeten als auf einen ausserordentlich bevorzugten blicken. Die Erde steigt in unserer Anschauung im Range, und die Erdkunde wird für uns um so ernster, weil sie uns den hohen Werth unseres Wohnortes würdigen lehrt.

V. Die Meteorite.

Ausser den Planeten und Planetoiden umkreisen noch zahlreiche andere Weltkörper die Sonne, entziehen sich aber für gewöhnlich in Folge ihrer Kleinheit den Augen irdischer Beobachter. Sichtbar werden sie nur, wenn sie, in ihrem Laufe die Erdbahn durchschneidend, unserem Planeten so nahe kommen, dass sie auf ihn herabstürzen. Diese kleinsten aller astronomischen Objecte sind die Meteorsteine, Meteorite oder Aërolithe.

Schon die alten Schriftsteller berichten uns über Meteoritenfälle. Plutarch und Plinius schildern uns einen im Jahre 476 v. Chr. am Aegos Potamos in Thrakien niedergefallenen Meteoriten als einen gewaltigen Stein, welcher an Grösse zwei Mühlsteinen, an Schwere dem Gewicht einer vollen Wagenladung gleichgekommen sei.

Die „Annales Fuldenses" erzählen, dass im Jahre 823 in Sachsen durch einen grossen Meteorsteinfall 35 Dörfer in Brand gesteckt worden seien. Man kann sich dies nicht anders erklären, als dass man einen förmlichen Regen von Meteoriten annimmt, der wie ein Hagel eine grössere Fläche traf; ein einziger Meteorstein konnte unmöglich eine solche Wirkung hervorbringen.

Aus jedem Jahrhundert des Mittelalters wie der Neuzeit haben wir Berichte über Meteoritenfälle; sie nehmen natürlich an Zahl zu, je mehr man sich der Gegenwart nähert, da man diesen Naturerscheinungen in späteren Zeiten eine grössere Aufmerksamkeit schenkte.

In früheren Jahrhunderten zweifelte niemand daran, dass Meteoritenfälle stattfänden, da ja zahlreiche gut beglaubigte Berichte vorlagen; trotzdem stellten am Ende des 18. Jahrhunderts die Mitglieder der Pariser Akademie und nach ihrem Vorgang die meisten Gelehrten jener Zeit die Wirklichkeit der Meteorsteinfälle gänzlich in Abrede.

Da ereignete sich am 26. April 1803 der Meteorsteinfall bei Aigle im Departement de l'Orne (Normandie). An dem genannten Tage

stürzten zwischen 1 und 2 Uhr Nachmittags gegen 2000 bis 3000 Steine auf eine etwa 2 Meilen lange elliptische Fläche herab. Biot, von der Pariser Akademie zur Untersuchung entsendet, überzeugte sich an dem Orte des Ereignisses von der Wahrheit der Thatsache, und seitdem sind alle jene Zweifel vernichtet, zumal bald darauf neue Meteoritenfälle, wie der in der Nähe von Alais (in Languedoc, nordwestlich von Nîmes) am 15. März 1806, beobachtet wurden.

Die Grösse und das Gewicht der Meteorite ist ausserordentlich verschieden. Unter den bei Aigle gefallenen befanden sich auch solche, welche nur 8 Gramm wogen; die meisten hatten ein Gewicht von mehr als 1 Pfund, einer von über 18 Pfund.

Häufig sind die Meteorite sogar centnerschwer. Am Eingang der Pfarrkirche von La Caille im Departement Var (in der Provence) liegt eine 12 Centner schwere Eisenmasse. Die von Pallas im Jahre 1772 bei Krasnojarsk am Jenisseï auf der Höhe eines Berges gefundene Masse von Meteoreisen wog fast 40 Pud (c. 655 Kilogramm) [1]. Unter den neueren Meteorfällen ist der von Knyahinya (Ungarn) am 9. Juni 1866 der bedeutendste. Die herabgefallenen Steine, deren Gesammtgewicht auf 8 bis 10 Centner geschätzt wurde, bedeckten eine elliptische Fläche von 2 Meilen Länge und $^3/_4$ Meilen Breite; einer, der beim Auffallen zerbarst, mag wohl 6 Center gewogen haben. Nicht minder grosse Meteoreisenmassen weisen einzelne Gegenden im Innern Afrika's auf. So berichtet Andersson: „Acht bis zehn Tagereisen ostwärts von der Missionsstation Bethania (im Gross-Namaqua-Lande in Südafrika) findet man Meteoreisen in fast unerschöpflicher Menge. Ich habe Stücken von mehreren hundert Pfund Gewicht gesehen, die man von dort herbrachte", wobei er noch die interessante Notiz hinzufügt: jenes Metall sei so rein und dehnbar, dass die Eingeborenen ohne jede vorgängige Umschmelzung Kugeln daraus verfertigten [2]. Wir dürfen im Anschluss daran die Vermuthung aussprechen, dass die Verwendung des ausserordentlich leicht zu bearbeitenden Meteoreisens bei manchen Völkern die Eisenzeit eingeleitet haben mag.

Reich an meteorischen Eisenmassen ist ferner die neue Welt. Auf seiner Polarreise im Jahre 1818 erfuhr Ross von den an der Baffinsbay wohnenden Eskimos, welche Messer aus Meteoreisen verfertigt hatten, dass an der Westküste von Grönland mächtige Blöcke gediegenen Eisens umherlägen. Nordenskiöld hat nun im Jahre 1870 das zwischen der Laxe-Bucht und dem Disko-Fjord gelegene meteo-

[1]) P. S. Pallas, Reise durch verschiedene Provinzen des russischen Reichs. St. Petersburg 1776. Bd. III, S. 411—417.

[2]) Charles J. Andersson, Reisen in Südwest-Afrika bis zum See Ngami in den Jahren 1850 bis 1854. Bd. II, S. 61.

ritenreiche Gebiet der Disko-Insel, Ovifak genannt, betreten und hier Eisenstücke gefunden, die in der That sowohl im äusseren Ansehen wie in chemischer Hinsicht dem Meteoreisen gleich und auch aus anderen Gründen (sie zeigten die Widmanstätten'schen Figuren, vgl. S. 110) zweifellos Meteorite waren. Ueber Grösse und Gewicht dieser grönländischen Eisenmassen giebt Nordenskiöld Folgendes an: Den grössten ovalen Block von etwa 2 Meter Durchmesser schätzt er auf 500 Centner, einen zweiten von 1,3 und 1,27 Meter Durchmesser auf 200 Centner, einen fast conischen von 1,15 und 0,85 Meter Durchmesser auf 90 Centner, 12 andere nebst verschiedenen linsenförmigen, 8 bis 10 Centimeter dicken Stücken zusammen auf ziemlich 16 Centner. Merkwürdiger Weise sind hier einzelne Massen von dem basaltischen Gestein umschlossen, theilweise sogar von diesem überdeckt: ein Umstand, welcher kaum anders als durch die Annahme erklärt werden kann, dass der Fall des Eisens zu jener Zeit erfolgt ist, in welcher der Basalt als gluthflüssige Masse hier hervordrang, also am Ende der Kreide- oder am Anfang der Tertiärperiode [1]). Endlich sind auch in Mexico, sowie in Brasilien und anderen amerikanischen Ländern Meteorite im Gewichte von 20, 140, 300 und 400 Centnern gefunden worden.

Da das Eisen auch sonst manchmal gediegen vorkommt, so dürfen wir nicht immer den Berichten über Entdeckung grosser meteoritischer Eisenmengen unbedingten Glauben schenken. So wird namentlich von Sir W. Parish u. a. bezweifelt, dass die Eisenblöcke bei Toconao ($7^1/_2$ geogr. Meilen von San Pedro in der Provinz Atacama in Südamerika) Meteorite seien, da nach der Aussage der Eingeborenen auch eine Ader von gediegenem Eisen derselben Art in der dortigen Gegend bestehen soll. Aehnliches gilt von den grossen Eisenmassen bei Otumpa (52 geogr. Meilen östlich von Santiago in Chile) [2]).

Welches sind nun die charakteristischen Eigenthümlichkeiten der Meteorite?

Sie sind ohne Ausnahme mit einer schwarzen schlackigen Kruste bedeckt, welche sich gewöhnlich kaum einige Millimeter tief in die Substanz des Steins erstreckt. Sie rührt davon her, dass die mit ungeheurer Geschwindigkeit in unsere sauerstoffreiche Atmosphäre gelangenden Meteorite in derselben eine theilweise Verbrennung erleiden, welche indess wegen der kurzen Zeit, die ihr Fall nur in Anspruch nimmt, nicht tiefer in die Oberfläche einzudringen vermag.

[1]) Nach A. Nordenskiöld's Redogörelse för en Expedition till Grönland år 1870. Stockholm 1871 — in der Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft. Bd. XXIII (1871), S. 738—745.

[2]) Sir John F. W. Herschel, Physical Geography of the Globe. 5th ed. Edinburgh 1875. p. 278.

Was die chemische Zusammensetzung der Meteorite betrifft, so ist zunächst darauf hinzuweisen, dass in ihnen noch kein Element entdeckt worden ist, welches auf Erden fehlt. Hingegen hat man bis jetzt fast die Hälfte, nämlich 27 unserer chemischen Grundstoffe in ihnen wiedererkannt, und zwar Sauerstoff, Wasserstoff, Stickstoff, Chlor, Eisen, Magnesium, Lithium, Silicium, Mangan, Aluminium, Kalium, Natrium, Calcium, Schwefel, Kohlenstoff, Nickel, Zink, Kupfer, Arsenik, Phosphor, Antimon, Blei, Zinn, Kobalt, Chrom, Titan, Selen. Die Meteorite liefern uns also gewissermassen ein Summarium der Erdbestandtheile: eine sehr wichtige Thatsache, wenn wir hinzufügen, dass die Meteorite, wie wir dann noch sehen werden, wenigstens zum Theil aus extrasolaren Himmelsräumen stammen; denn sie berechtigt uns zu der Annahme, die auch durch die spectroskopischen Untersuchungen des Fixstern- und Planetenlichtes im allgemeinen bestätigt wird, dass die gesammte Körperwelt aus gleichem Stoffe bestehe wie die Erde. Je nachdem von jenen Grundstoffen viel leichte unter die schwereren Metalle sich mischen, schwankt die specifische Schwere der Meteorite zwischen 3 und 6, 5 bis 8; im Mittel aber dürfte sie derjenigen der Erde sehr nahe kommen. Da nun die mittlere Dichte der Erde viel grösser ist als die der Erdkruste, so darf die Vermuthung ausgesprochen werden, dass die Grundstoffe im Erdinnern in ähnlicher Weise zusammengesetzt sind wie in den Meteoriten.

Im einzelnen sind dieselben hinsichtlich ihrer chemischen Beschaffenheit wesentlich von einander unterschieden. Gustav Rose[1]) theilt sie in dieser Beziehung in zwei Hauptclassen ein: in Eisenmeteorite und Steinmeteorite.

Die Eisenmeteorite bestehen entweder aus gediegenem Eisen, Meteoreisen, das häufig stark nickelhaltig ist, oder aus einer Eisenmasse, welche verschiedene Silicate (z. B. Olivinkörner) einschliesst. Dem Meteoreisen sind die nach ihrem Entdecker bezeichneten Widmanstätten'schen Figuren eigenthümlich, geradlinige geometrische Figuren, welche hervortreten, sobald man angeschliffene und polirte Flächen von Meteoreisen mit verdünnter Salpetersäure ätzt. Sie belehren uns, dass die ganze Masse aus dünnen Lagen einzelner Krystalle zusammengesetzt ist und auch in chemischer Beziehung nicht gleichartig ist.

Die Steinmeteorite besitzen eine trachytische Grundmasse, welche aus verschiedenen Silicaten, insbesondere Magnesiasilicaten gebildet wird; Einsprengungen von metallischem Eisen finden sich auch bei ihnen häufig.

[1]) „Beschreibung und Eintheilung der Meteorite" in den Abhandlungen der Kgl. Akademie d. W. zu Berlin v. J. 1863, S. 23—161.

Die letztere Gruppe ist an Zahl der ihr zugehörigen Objecte viel bedeutender als die erstere. Reichenbach hat berechnet, dass im Durchschnitt jährlich 4500 Meteorite fallen, dass aber auf 100 Steinmeteorite erst 1 Eisenmeteorit kommt. Wenn wir trotzdem fast immer nur von aufgefundenen Eisenmeteoriten hören, so darf uns dies nicht Wunder nehmen, da die Steinmeteorite allmählich verwittern und zerfallen, somit nur dann als Meteorite erkannt werden, wenn sie kurze Zeit nach ihrem Sturze entdeckt werden, während das Meteoreisen Jahrhunderten und Jahrtausenden Trutz zu bieten vermag.

In manchen Fällen treten die Meteorite als Feuerkugeln auf. Diese Bezeichnung legt man ihnen dann bei, wenn sie hellglänzend die Lüfte durchziehen und mindestens die scheinbare Grösse der Venus und des Jupiter erreichen; doch ist ihr scheinbarer Durchmesser oft sogar dem des Mondes gleich. Sind ihre Lichtwirkungen geringer als diejenigen der Venus und des Jupiter, so führen sie den Namen Sternschnuppen. Nun hat man zwar Feuerkugeln beobachtet, welche keinen Meteoritenfall nach sich zogen, andrerseits aber auch Meteoritenfälle (namentlich bei Tage), mit denen kein Feuerschein verbunden war; indessen hat so oft eine Coincidenz beider stattgefunden, dass wir sie recht wohl als verschiedene Erscheinungsformen eines und desselben Ereignisses auffassen dürfen. Die Sternschnuppen gelangen wohl niemals zur Erde herab, sondern lösen sich schon in höheren Luftregionen gänzlich auf. Sie fallen in reicher Menge; denn sie fehlen fast in keiner Nacht.

Da Feuerkugeln und Sternschnuppen unvorhergesehen auftauchen und ausserordentlich rasch wieder verschwinden, so ist es unmöglich, die Höhe, in welcher sie aufleuchten, und ihre Geschwindigkeit genau zu ermitteln.

Zur Bestimmung der Höhe, in welcher die Sternschnuppen aufblitzen und erlöschen, bedarf man correspondirender Beobachtungen in zwei hinreichend weit von einander entfernten Orten, zwischen denen eine telegraphische Verbindung hergestellt ist. Aus dem Abstand jener Orte und den Winkeln, unter denen die Sternschnuppen gesehen worden sind, lässt sich die Höhe des Aufleuchtens, resp. Erlöschens der Sternschnuppen leicht berechnen. Nach Heis betragen diese beiden Werthe durchschnittlich 15 und 8 geogr. Meilen; die zu Richmond und Washington vorgenommenen Beobachtungen ergaben 25 und 11 geogr. Meilen. Secchi endlich ermittelte aus correspondirenden Beobachtungen zu Rom und Civita Vecchia als bedeutendste Höhe der leuchtenden Meteore über dem Boden 25, als kleinste 7 geogr. Meilen [1]).

[1]) Joh. Müller, Lehrbuch der kosmischen Physik. 4. Aufl. Braunschweig 1875. S. 252 f.

Die Geschwindigkeit der Sternschnuppen lässt sich auf theoretischem Wege befriedigend feststellen. Die Erde bewegt sich auf ihrer Bahn um die Sonne in der Secunde 30 400 Meter weit; dies ist zugleich die Geschwindigkeit für jeden Körper, der in gleicher Entfernung wie die Erde eine kreisförmige Bahn um die Sonne beschreibt. Nehmen wir also an, dass die Bahn der Meteorite eine kreisförmige ist, so würden sie sich bei rechtläufiger Bewegung (d. h. wenn sie in gleichem Sinne wie die Erde fortschreiten) um 0 Meter, bei rückläufiger hingegen um 60 800 Meter in der Secunde der Erde nähern, wobei wir von der Wirkung absehen, welche die Anziehung der Erde auf die Meteorite ausübt. Je nachdem nun ihre Bewegung rechtläufig oder rückläufig ist und die Bahnebenen der Erde und der Meteorite dabei einen kleineren oder grösseren Winkel mit einander bilden, wird die Geschwindigkeit beim Zusammenstoss sich dem Minimalwerth 0 Meter oder dem Maximalwerth 60 800 Meter nähern.

Wären die angenommenen Verhältnisse richtig, d. h. bewegten sich die Meteorite in kreisförmigen Bahnen um die Sonne, so könnten Meteorfälle kaum jemals auf den mittleren Meridianen derjenigen Halbkugel vorkommen, welche von der Richtung der Erdbewegung abgewandt liegt, d. h. in der Nähe desjenigen Meridians, für welchen die Sonne eben untergeht; denn die rückläufigen Meteorite fielen auf der in der Richtung der Erdbewegung liegenden Halbkugel nieder; die der Erde folgenden aber könnten diese nicht ereilen. Da jedoch Sternschnuppen auch zur Zeit der Abenddämmerung gesehen werden, so müssen wir annehmen, dass ihre Geschwindigkeit viel bedeutender ist als die der Erde; daraus aber folgt, dass ihre Bahnen nicht planetarischer Natur sind, somit nicht Kreise oder vielmehr Ellipsen von geringer Excentricität darstellen, sondern stark excentrische Ellipsen oder wohl gar Parabeln.

Je mehr sich die grosse Axe der Ellipse, in welcher sich ein Meteorit bewegt, vergrössert, um so schneller wird er das Perihel passiren, am schnellsten aber, wenn die grosse Axe unendlich ist, also die Ellipse zu einer Parabel wird. Dann verhält sich die Geschwindigkeit der Erde zu der des hier in Betracht kommenden Körpers wie $1 : \sqrt{2}$; die Geschwindigkeit des letzteren ist demnach gleich $30\,400 \,.\, \sqrt{2}$ oder 43 107 Meter in der Secunde. Dies ist die Maximalgeschwindigkeit eines Körpers, welcher sich nach den Gravitationsgesetzen in einer parabolischen Bahn um die Sonne bewegt und im Perihel gleichweit von der Sonne entfernt ist wie im Mittel die Erde. Fallen die Bahnebenen der Erde und des eine Parabel beschreibenden Meteoriten zusammen, so beträgt die relative Geschwindigkeit beider im Momente des Zusammenstosses $30\,400 + 43\,107 = 73\,507$ Meter, wenn die Be-

wegung des Meteoriten eine rückläufige, hingegen nur 43 107 — 30 400 = 12 707 Meter, wenn dieselbe eine rechtläufige ist. Zwischen diesen beiden Grenzwerthen würden je nach dem Winkel, welchen die beiden Bahnebenen mit einander bilden, die Geschwindigkeiten variiren, mit denen in parabolischen Bahnen ziehende Meteorite auf die Erde fallen. Die Beschleunigung jener Geschwindigkeit durch die Anziehungskraft der Erde dürfen wir hier vernachlässigen, da dieselbe verhältnissmässig unbedeutend ist.

Aus der rapiden Schnelligkeit, mit welcher die Meteorite in unsere Atmosphäre eintreten, erklärt sich die so häufig mit ihrem Niederfall verbundene Lichterscheinung. Ist auch der Luftwiderstand in den oberen Regionen der Atmosphäre wegen der ausserordentlichen Verdünnung derselben viel geringer als unten, so ist er doch ansehnlich genug, die kosmische Geschwindigkeit der Meteorite bedeutend zu verzögern. Augenblicklich verwandelt sich in Folge dieser Hemmung ein Theil der lebendigen Kraft in Wärme, also Massenbewegung in Molecularbewegung, und die auf diese Weise erzeugte Wärme reicht hin, den herabstürzenden Körper bis zur Weissgluth zu erhitzen. So würde ein aus einem Silicat bestehender Meteorit, wenn der auf seiner Bahn rechtwinklige Querschnitt desselben 1 Quadratdecimeter, seine mittlere Geschwindigkeit 30 000 Meter in der Secunde betrüge und die mittlere Dichtigkeit der von ihm durchlaufenen Luftschicht 10 000 mal geringer wäre als die Dichtigkeit der Luft am Meeresspiegel, eine Temperaturerhöhung von 6398° C. erfahren, wovon der vierte Theil schon genügen würde, ihn in die hellste Weissgluth zu versetzen. Derartige Temperaturen verursachen nicht bloss das helle Aufleuchten, sondern auch die völlige Auflösung und Zerstörung der Meteorite. Ihnen gegenüber bildet also unsere Atmosphäre eine Art Panzer, durch welchen wir vor einem verderblichen Bombardement von Meteoriten geschützt sind [1]).

Sir A. Herschel hat aus dem Lichtwerth der Sternschnuppen unter Berücksichtigung ihrer durchschnittlichen Entfernung ihre Masse berechnet und ist hierbei zu folgendem Resultate gelangt:

Glanz wie Jupiter	2996	Gramm
„ „ Sirius	358	„
„ „ Wega	29	„
„ „ α Persei	6	„

Da jedoch der Lichtwerth der Sternschnuppen in den meisten Fällen weit hinter dem von α Persei zurückbleibt, so dürfte ihre Masse meist nur wenige Bruchtheile eines Gramms betragen.

[1]) Joh. Müller, l. c. S. 246—249.

Bemerkenswerth ist, dass die Sternschnuppen an gewissen Tagen des Jahres, besonders in der Zeit vom 12. bis 14. November und an dem 10. August (dem Tage des heiligen Laurentius) in grosser Anzahl erscheinen. Die auffallend vielen Sternschnuppenschwärme des letzteren Tages werden schon in einem alten englischen Kirchenkalender mit dem Namen „Thränen des heiligen Laurentius“ bezeichnet.

Dem Novemberphänomen widmete man eine grössere Aufmerksamkeit seit der denkwürdigen Nacht vom 11. zum 12. November des Jahres 1799, in welcher A. v. Humboldt in Cumaná (Venezuela) ein überraschend grossartiges Schauspiel beobachtete [1]). Tausende von Feuerkugeln und Sternschnuppen fielen herab und zwar vier Stunden lang. A. v. Humboldt zog später überall Erkundigungen ein, wo man das Phänomen wahrgenommen hatte und stellte, nach Europa zurückgekehrt, fest, dass der Sternschnuppenfall von Weimar bis an den Rio Negro, vom Rio Negro bis nach Herrnhut in Grönland auf einem Flächenraum von 921 000 Quadratmeilen gesehen worden war.

A. v. Humboldt berichtet uns: Die ältesten Bewohner von Cumaná erinnerten sich, dass dem grossen Erdbeben des Jahres 1766 ein ganz ähnliches Phänomen vorausgegangen war. Als nun in den Jahren 1832 und 1833 wieder ein überaus imposanter Sternschnuppenregen erfolgte (1833 zählte man in Nordamerika innerhalb 9 Stunden über 300 000 Sternschnuppen), vermuthete man eine periodische Wiederkehr der Erscheinung in $33^1/_4$ Jahren. In der That hat sich diese Erwartung in den Jahren 1866, 1867 und 1868 glänzend bestätigt.

Bei dem Meteoritenfall im November 1833 machte Olmstedt die wichtige Entdeckung, dass die meisten Meteorite von einem einzigen Punkte des Himmels strahlenförmig nach allen Richtungen hin auszugehen schienen, wie etwa die Lichtstreifen eines Raketenbündels beim Niederfallen desselben. Jener Punkt, den man als Ausstrahlungs- oder Radiationspunkt bezeichnet, liegt nach neueren Bestimmungen zwischen den Sternen ε und μ leonis, weshalb man die Meteorite des Novemberschwarms auch als Leoniden bezeichnet. Doch ist diese strahlenförmige Anordnung der Meteorite nur eine scheinbare; vielmehr dürfen wir aus derselben auf einen Parallelismus ihrer Bahnen schliessen. Wir erläutern dies an folgendem Beispiele:

Auf einer Ebene möge sich eine Anzahl paralleler, geradliniger Pappelreihen befinden und am Anfang dieser Alleen ein Thurm. Besteigen wir diesen, um die Ebene zu überschauen, so macht es den

[1]) H. Hauff, Humboldt's Reise in die Aequinoctialgegenden des neuen Continents. Stuttgart 1859. S. 68 ff. und: A. v. Humboldt, eine wissenschaftliche Biographie. Herausgeg. von Karl Bruhns. Leipzig 1872. Bd. III, S. 14 ff.

Eindruck, als ob sich alle jene Baumreihen, obgleich parallel, in einem und demselben Punkt am Horizonte treffen; ja die äussersten von ihnen vereinigen sich vielleicht für unser Auge unter einem rechten Winkel. Genau so ist es mit den Sternschnuppen. Sie bewegen sich sämmtlich parallel aus einer für das menschliche Auge unendlichen Ferne, und die nothwendige perspectivische Wirkung ist es, dass sie, je näher sie uns kommen, um so mehr fächerförmig auseinander weichen. Somit giebt uns eine gerade Linie von dem bezeichneten Radiationspunkte nach derjenigen Stelle, wo sich die Erde in der Nacht vom 13. zum 14. November befindet, die Richtung an, in welcher die Meteorite an den genannten Tagen die Erde treffen.

Der Radiationspunkt der Laurentiusschwärme wurde erst später ermittelt; derselbe ist nach Heis der Stern Algol im Perseus, weshalb Schiaparelli die Augustmeteorite Perseiden genannt hat.

Um die Periodicität der Sternschnuppenfälle zu erklären, nahm man früher an, dass grosse Meteoritenschaaren, einen mächtigen Ring bildend, die Sonne in planetarischen, also wenig excentrischen Bahnen umkreisen und die Erdbahn im August und November durchschneiden. Doch ist diese Annahme nicht haltbar, da die Meteorite schon durch ihre rückläufige Bewegung verrathen, dass sie extrasolare Gäste im Sonnensystem sind, was ausserdem noch durch ihre relativ grosse Geschwindigkeit bestätigt wird. Man muss deshalb annehmen, dass die Bahnen der Meteorite, denen die Erde am 10. August und am 12. bis 14. November begegnet, langgestreckte Ellipsen sind, welche die Erdbahn in einem ihrem Perihel nahen Punkte schneiden. Da eine stark excentrische elliptische Bahn in der Nähe ihres Perihels mit einer parabolischen desselben Brennpunktes und Perihels nahezu zusammenfällt, so dürfen wir hier für die Ellipse eine Parabel substituiren.

Zur Construction einer Parabel sind drei Elemente nöthig: ihr Brennpunkt, ein Punkt der Curve und die Richtung der Tangente, welche in diesem Punkt die Parabel berührt. Diese drei Data besitzen wir sowohl für die August-, als auch für die Novembermeteorite. Der Brennpunkt der parabolischen Bahn ist die Sonne; ein Punkt in derselben ist der Ort, an welchem sich die Erde im August, resp. November befindet, und die Tangente, welche in diesem Punkte die Parabel berührt, ist die Linie, welche wir uns von dem Radiationspunkte eines Sternschnuppenschwarms nach der in Betracht kommenden Position der Erde gezogen denken.

In dem Folgenden geben wir die Elemente der parabolischen Bahn der Perseiden (des Augustschwarmes) nach Schiaparelli's Berechnung:

Länge des Perihels 343° 38′
Länge des aufsteigenden Knotens 138° 16′

Neigung der Bahn	64° 3′
Periheldistanz	0,9643
Bewegung	rückläufig [1]).

Der Perseiden-(August-)schwarm sendet in jedem Jahre der Erde eine annähernd gleiche Menge von Sternschnuppen zu, während das Novemberphänomen, wie oben gezeigt wurde, in Perioden von 33 1/4 Jahren besonders glanzvoll auftritt. Hieraus dürfen wir schliessen, dass die Perseiden gleichmässig innerhalb des ganzen Ringes vertheilt sind, während sich im Leoniden-(November-)ring an einer Stelle, wo gewissermassen der Edelstein im Reife sitzt, eine auffallend grosse Zusammenschaarung der Massen vorfinden muss. Da diese regelmässig in 33 1/4 Jahren zurückkehrt, so erkennen wir hieraus die Umlaufszeit der Leoniden. Benützt man die Umlaufszeit in Verbindung mit den übrigen oben genannten Daten, welche zur Berechnung einer parabolischen Bahn erforderlich sind, so lässt sich die elliptische Bahn des Schwarmes berechnen. Nach Schiaparelli sind Folgendes die Elemente der Leonidenbahn:

Periheldurchgang 1866 [2])	November	10,1
Durchgang durch den absteig. Knoten . . .	„	13,6
Länge des Perihels		56° 26′
Länge des aufsteigenden Knotens		231° 28′
Neigung der Bahn		17° 44′
Periheldistanz .		0,9873
Excentricität [3])		0,9046
Halbe grosse Axe		10,34
Umlaufszeit (in Jahren)		33,25
Bewegung .		rückläufig.

Die Apheldistanz des Novemberschwarmes beträgt demnach 19,69 Sonnenweiten; sie reicht also nur wenig über die Uranusbahn hinaus.

[1]) Die Länge des Perihels ist die astronomische Länge der Parabelaxe oder der Winkel, welchen diese Axe, projicirt auf die Ebene der Ekliptik, mit der von der Sonne nach dem Frühlingspunkte gezogenen Linie macht. Unter dem aufsteigenden Knoten versteht man denjenigen Punkt, in welchem die Meteorite von der Südseite der Ekliptik auf die Nordseite übertreten. Er wird ebenfalls bezeichnet durch die astronomische Länge, vom Frühlingspunkte aus gerechnet. Durch den aufsteigenden Knoten wird die Lage der geraden Linie bestimmt, in welcher die Ebene der Erdbahn von der Ebene der Meteoritenbahn geschnitten wird. Die Neigung der Bahn ist der Winkel, den die Bahnebene der Meteorite mit der Erdbahnebene bildet. Die Periheldistanz endlich ist die Entfernung der Meteorite von der Sonne bei grösster Sonnennähe. Als Masseinheit bedient man sich des mittleren Abstandes der Erde von der Sonne.

[2]) Die Zeit der Durchgänge ist nach Mailänder Uhr angegeben.

[3]) Vgl. S. 80, Anm. 1.

Aus der Construction dieser Bahn ergiebt sich übrigens deutlich, dass es der Planet Uranus gewesen ist, welcher durch seine Anziehung den Novemberschwarm zur Einwanderung in unser Sonnensystem gezwungen und ihm seine jetzige Bahngestalt auferlegt hat. Dies geschah nach Leverrier's Berechnung im Jahre 126 n. Chr.

Aus dem Obigen geht hervor, dass sich die Meteoritenbahnen von den Planetenbahnen wesentlich unterscheiden. Sie sind nicht annähernd kreisförmig wie diese, sondern stellen Parabeln oder langgestreckte Ellipsen dar; ferner bilden ihre Bahnebenen mit derjenigen der Erde bedeutende Winkel. Endlich ist ihre Bewegung in den vorliegenden Fällen rückläufig, also der Bewegungsrichtung aller Planeten entgegen gesetzt.

Wahrscheinlich giebt es Tausende von Meteorringen in den weiten Räumen des Sonnensystems; sie bleiben uns jedoch unsichtbar, da sie die Erdbahn nicht berühren. Auch vom August- und Novemberring gewahren wir selbst in den stärksten Fernrohren nichts ausser zu der Zeit, wo die Erde durch sie hindurchgeht.

Ausserordentlich bedeutsam ist noch die von Schiaparelli am 31. December 1866 in dem meteorologischen Bulletin des Colleggio Romano veröffentlichte Entdeckung, dass der Comet III des Jahres 1862 fast genau dieselbe Bahn zieht wie die Perseiden; denn seine Bahnelemente sind nach Oppolzer:

Periheldurchgang	August 22,9
Länge des Perihels	344° 41′
Länge des aufsteigenden Knotens	137° 27′
Neigung der Bahn	66° 25′
Periheldistanz	0,9626
Bewegung	rückläufig.

Somit ist jener Comet offenbar ein Glied des Perseidenringes. Er vollendet seinen Umlauf um die Sonne in 145 Jahren, und dies dürfte wahrscheinlich auch die Umlaufszeit der Perseiden sein. Hieraus aber folgt, dass sein Aphelion und ebenso das der Augustmeteorite nahezu doppelt so weit von der Sonne entfernt ist wie Neptun [1]).

Ebenso stimmen nach den Berechnungen von Schiaparelli, Oppolzer, Peters und Leverrier die Bahnelemente des Cometen I von 1866 (des Tempel'schen Cometen) nahezu mit denen der Leoniden überein; denn nach Oppolzer sind jene:

Durchgang durch's Perihel 1866	Januar 11,16
Länge des Perihels	60° 28′
Länge des aufsteigenden Knotens	231° 26′

[1]) Richard A. Proctor, Other Worlds than Ours. 4th ed. London 1878 p. 185.

Neigung der Bahn	17° 18′
Periheldistanz	0,9705
Excentricität	0,9054
Halbe grosse Axe	10,324
Umlaufszeit (in Jahren)	33,176
Bewegung	rückläufig.

Dieser Comet ist also in den Leonidenring eingeschaltet.

Aus jenen wichtigen Entdeckungen der mathematischen Astronomie ergiebt sich vorläufig nur mit Sicherheit, dass mehrere Cometen genau dieselbe Bahn durchlaufen wie gewisse Sternschnuppenschwärme. Es liegt nun die Vermuthung nahe, dass die Sternschnuppen und Cometen auch in Bezug auf ihre Entstehung sehr verwandt sind. Schiaparelli spricht seine Ansicht hierüber etwa in folgenden Worten aus:

„Eine glühende Gasmasse von sehr bedeutenden Dimensionen und sphärisch abgerundeter Gestalt wird bei ihrer allmählichen Abkühlung und Condensation einen Fixstern bilden, welcher, etwa wie unsere Sonne, noch von einem Planetensystem umgeben sein kann. Eine Gasmasse von geringeren Dimensionen und unregelmässig verzweigter Form hingegen wird an ihren hervorragenden und vom Mittelpunkte entfernteren Partien eine raschere Abkühlung erfahren, wobei sich dann viele, ja unzählige isolirte kleine Concentrationskerne bilden. Tritt eine solche Concentration auf der Oberfläche ein, während der Centralkörper sich noch in Gasform befindet, so wird ein solches System, von der Sonne angezogen, einen Cometen liefern, welcher von einem Meteorstrom begleitet ist; erfolgt aber die Condensation in gleicher Weise durch die ganze Masse hindurch, so bildet sich eine kosmische Wolke, welche einen Sternschnuppenstrom ohne Cometen erzeugt“ [1]).

Secchi identificirt Sternschnuppen und Cometen vollständig. So sagt er mit Beziehung auf die oben erwähnte Entdeckung Schiaparelli's: „Es ist klar, dass diese neuesten Resultate der wissenschaftlichen Forschung über die Sternschnuppen auch über die Natur der Cometen ein neues Licht verbreitet haben; diese Himmelskörper erscheinen nunmehr als mächtige Sternschnuppenschwärme oder vielmehr als Anhäufungen von meteorischen Körperchen, die aus Nebelflecken abstammen und daher unserem Sonnensystem ursprünglich nicht angehören“ [2]). In ähnlicher Weise bemerkt Zech: „Cometen und Asteroiden sind nichts Verschiedenes; ein Comet ist entweder ein

[1]) Joh. Müller, l. c. S. 348 f.

[2]) A. Secchi, Die Sonne. Uebersetzt von H. Schellen. Braunschweig 1872. S. 754.

Theil eines Asteroidenringes, eine besonders dichte Ansammlung kleiner Körper, oder er ist das Ursprüngliche, aus welchem sich durch Auflösung ein Asteroidenring bildet“ [1]).

Wir müssen uns jedoch davor hüten, Meteorite und Cometen in allzunahe Beziehungen zu einander zu bringen. Zwar bewegen sich beide vielleicht häufig in gemeinsamen Bahnen; indess besteht insofern ein tiefgreifender Unterschied zwischen ihnen, als die Cometen selbstleuchtend sind, die Meteorite hingegen nicht oder wenigstens nicht eher, als bis sie in das Bereich unserer Atmosphäre eintreten. Dieser Verschiedenheit liegt wohl eine chemische Differenz zu Grunde; die Cometen bestehen wahrscheinlich aus Stoffen, die bereits bei niederer Temperatur weissglühen, während die Meteorite erst bei hohen Wärmegraden Weissglühhitze annehmen [2]). Auch dürfen wir die Cometenschweife schon deshalb nicht als Meteorschwärme ansehen, weil sie nicht die Richtung der Cometenbahnen theilen, sondern sich rechtwinklig von diesen entfernen. Aus den nachfolgenden Betrachtungen der Cometen wird noch deutlicher hervorgehen, dass wir diese als völlig selbstständige Glieder von Meteorschwärmen anzuerkennen haben.

1) Zech, Himmel und Erde. München 1870. S. 105.

2) J. Norman Lockyer in Nature Vol. X, Nr. 245. 9. July 1874, p. 181.

VI. Die Cometen.

Der Volksaberglaube betrachtet die Cometen als Vorboten von Krieg, Pest und Theurung, überhaupt von unglücklichen Ereignissen. So soll beispielsweise der grosse Donati'sche Comet (1858) den österreichisch-französischen Krieg des Jahres 1859 angekündigt haben. Welche Wahrheit in diesem Volksaberglauben liegt, lässt sich am besten aus der Frequenz der Cometen ermessen. In sieben halben Jahrhunderten von 1500 bis 1850 sind zusammen 52 dem blossen Auge sichtbare Cometen in Europa erschienen: nämlich von 1500 bis 1550 13, von 1550 bis 1600 10, von 1600 bis 1650 (im Zeitalter des dreissigjährigen Krieges!) 2, von 1650 bis 1700 10, von 1700 bis 1750 4, von 1750 bis 1800 4, von 1800 bis 1850 9 [1]). Die sichtbaren Cometen tauchen also in nicht allzugrosser Menge auf. Hingegen sind die teleskopischen Cometen äusserst zahlreich, nach Kepler's Ausdruck so häufig „wie die Fische im Meere". Da nun in jedem Jahre Cometen erscheinen und ebenso in jedem Jahre Unheil geschieht, so kann auch kein Unglück auf Erden sich zutragen, dessen Anstiftung nicht ein Comet verdächtigt werden könnte, und umgekehrt kann jeder Comet sicher sein, dass seiner Annäherung zu Ehren ein schlimmes Ereigniss sich irgendwo zutrage. Es kann den Cometen gehen, meint Arago scherzhaft, wie jener Pariser Dame, welche bemerkt hatte, dass, so oft sie in der Rue Saint-Honoré, also an einem der belebtesten Punkte der Hauptstadt, zum Fenster hinaussah, ein Wagen vorüberfuhr und die sich zuletzt einbildete, sie sei die einzige Ursache von diesem lebhaften Verkehr.

Die Gestalt der Cometen erleidet manigfache Umwandlungen. Wenn ein Comet aus den Tiefen des Weltalls hervortritt, also noch weit von der Sonne entfernt und auch nur teleskopisch sichtbar ist, gleicht er meist einem schwach leuchtenden, runden oder ovalen Nebel-

[1]) A. v. Humboldt, Kosmos. Bd. III, S. 576 f.

fleck. Sein Centrum ist durch grösseren Glanz ausgezeichnet, als ob daselbst eine Condensation stattgefunden hätte; seine Ränder hingegen erscheinen verschwommen. Nähert sich der Comet allmählich seinem Perihel, so verlängert sich jenes nebelige Gebilde in der Richtung des Leitstrahles (radius vector), d. h. in der Richtung derjenigen geraden Linie, welche von der Sonne nach dem Cometen geführt werden könnte, wobei sich zugleich der helle Kern excentrisch nach der der Sonne zugekehrten Seite verschiebt. Endlich bildet sich der Schweif, während der ehemalige Kern mit relativ hellem Glanze als Kopf hervortritt.

Der Schweif ist fast stets von der Sonne abgewandt. Meistens entspricht seine Richtung einer geraden Linie von der Sonne nach dem Kopfe des Cometen; bei grösserer Entwicklung jedoch ist er stets zurückgebogen, d. h. seine convexe Wölbung ist derjenigen Seite zugekehrt, gegen welche er sich bewegt, als ob sein Weg durch ein hemmendes Medium hindurchführt, wobei der Schweif nur mühsam dem hastiger eilenden Kopf zu folgen vermag. Doch ist die gekrümmte Axe dieses Schweifes immer in der Bahnebene des Cometen gelegen. Aus dieser Thatsache erklärt sich die Verschiedenheit des Anblicks, welchen die Cometenschweife unserm Auge darbieten. Sie erscheinen gerade, sobald sich der Beobachter in der Ebene der Axe des Schweifes, d. h. in der Bahnebene des Cometen befindet, gekrümmt hingegen, wenn sich die Erde aus derselben entfernt, wie etwa ein Säbel, von welchem wir zuerst die Schneide und dann die Plattseite sehen.

In der Nähe des Perihels erreicht der Schweif seine schönste Entfaltung. Sowie der Comet dasselbe überschritten hat, wird der Schweif kleiner und weicht allmählich einer blossen Verlängerung des Kopfes. Der Comet erhält hierauf wieder jene sphärische Form mit dem relativ glanzvollen Kern und verschwindet endlich als matt leuchtendes Nebelgebilde im Weltraum.

Die Cometenentwicklung nimmt jedoch nicht immer den geschilderten Verlauf. Oft sind hell leuchtende Cometen nur mit kurzen und matt glänzenden Schweifen versehen; andere entbehren derselben gänzlich. Die Cometen von 1585 und 1763 zeigten keine Spur von einem Schweife; ebenso beschreibt uns Cassini die von 1665 und 1682 als rund und wohl begrenzt wie Jupiter. Doch giebt es auch Cometen, welche mehrere Schweife besitzen. Der Comet vom Jahre 1744 hatte deren sogar sechs, welche fächerartig vom Kopfe ausgingen und von denen jeder 4 Grad breit und 30 bis 40 Grad lang war. Bei dem hell leuchtenden Cometen von 1807 theilte sich der Schweif in zwei einen spitzen Winkel darstellende Aeste. Hingegen bildeten die

beiden Schweife des kleinen Cometen von 1823 einen Winkel von ungefähr 160 Grad; der glänzendere der Schweife war, wie gewöhnlich, von der Sonne abgekehrt, der andere, matt leuchtende aber gegen sie gerichtet [1]).

Die Dimensionen der Cometenschweife sind vielfach ganz ungeheure. Der Schweif des grossen Cometen von 1680 hatte nach Newton's Messung unmittelbar nach seinem Durchgange durch das Perihel eine Länge von 15 Millionen geogr. Meilen, während seine grösste Länge 31 Millionen geogr. Meilen betrug, eine Länge, welche den Abstand der Erde von der Sonne ansehnlich übertrifft. Der Schweif des Cometen von 1769 erstreckte sich von seinem Kopfe an 12 Millionen geogr. Meilen und der des grossen Cometen von 1811 27 Millionen geogr. Meilen weit in den Weltraum hinaus [2]). Dazu erreichte das Haupt des letzteren nahezu die Dimensionen der Sonne; denn sein Durchmesser war gleich 187 500 geogr. Meilen. Ferner hatte der Schweif des Cometen von 1843 eine Länge von 45 Millionen geogr. Meilen; er war also doppelt so gross als der Abstand der Erde von der Sonne. Die Dimensionen des Donati'schen Cometen (1858) waren bescheidener; denn der Durchmesser seines Kopfes betrug nur 10 000 geogr. Meilen, die Länge seines Schweifes $10^1/_2$ Millionen geogr. Meilen. Nehmen wir an, dass der letztere eine conische Gestalt besass, so hätte er etwa 1000 Sonnen in sich fassen können; da jedoch die Cometenschweife plattgedrückt sind, so muss diese Ziffer etwa auf die Hälfte reducirt werden. Immerhin ersehen wir, dass die Erde, die schon sehr klein neben der Sonne erscheint, im Vergleich zu dem gigantischen Körper eines Cometen fast nur ein Punkt ist.

Andrerseits aber deutet alles darauf hin, dass die Masse, aus welcher der Comet besteht, ausserordentlich dünn ist. Namentlich geht dies daraus hervor, dass die Sterne durch den Schweif eines Cometen gesehen werden, als ob dieser gar nicht bestünde; ebenso gestattet der viel dichtere und heller leuchtende Kopf dem Sternenlichte den Durchgang. Lange Zeit war es unentschieden, ob nicht wenigstens der Kern des Kopfes eine compactere, undurchsichtige Masse sei. Prüfungen mit mächtigen Teleskopen haben zu dem Ergebniss geführt, dass auch dieser durchsichtig ist. So hat Struve sogar einen Stern zehnter Lichtstärke durch den Kern des Halley'schen Cometen erblickt, und dieser Stern war nur 2 Bogensecunden vom Mittelpunkte desselben entfernt. Wenn wir bedenken, dass ein Nebel von tausend oder selbst von hundert Metern Dicke genügt, die Sterne des nächtlichen Himmels

[1]) Sir John Herschel, Outlines of Astronomy. New edition. London 1875. § 557, p. 372 sq.

[2]) Sir John Herschel, l. c. § 566, p. 378.

unseren Blicken gänzlich zu entziehen, während eine 10 000 bis 15 000 geogr. Meilen mächtige cometarische Masse kaum ihren Glanz schwächt, so kann es keinem Zweifel unterliegen, dass dieselbe in hohem Grade dünn ist. Daher vermögen auch Planeten, in deren Nähe Cometen kommen, — und zwar nicht bloss Jupiter, sondern sogar der kleine Mercur — die Cometen in ihren Bahnen bedeutend zu stören, während nicht die mindeste Rückwirkung von Seiten der Cometen auf die Planeten, nicht einmal auf die kleinen Jupitermonde bemerkbar wird. So ging der Comet vom Jahre 1770 zweimal — 1767 und 1779 — durch das System der vier Jupitermonde, ohne die geringste merkbare Veränderung in ihrer Bahn hervorzubringen: ein Beweis dafür, dass die Dichtigkeit der Cometen gegen die der Planeten eine verschwindend geringe ist. Nach Faye's Berechnungen ist der Kern der Cometen, welcher den compactesten Theil derselben bildet, kaum 9 mal dichter als die Luft, die in unseren pneumatischen Maschinen zurückbleibt, nachdem wir diese so vollständig wie möglich luftleer gemacht haben, und was die Dichtigkeit der Cometenschweife betrifft, so soll sie zehnbillionenmal geringer sein.

Die Bahn eines Cometen kann möglicherweise eine Hyperbel oder eine Parabel oder endlich eine Ellipse, seine Bewegung eine rückläufige oder rechtläufige sein [1]). Die Bahnelemente sind also ganz denen der Meteoritenbahnen entsprechend. Beschreibt ein Comet eine der beiden erstgenannten Linien, so kann er uns nur einmal erscheinen; er kommt als extrasolarer Gast gewissermassen aus unendlicher Ferne in unser Sonnensystem, um nach kurzem Aufenthalt für immer aus demselben zu verschwinden. Ein Comet kehrt nur dann wieder in die Sonnennähe, also in unseren Gesichtskreis zurück, wenn seine Bahn eine elliptische ist; in diesem Falle muss er als ein permanentes Glied unseres Sonnensystems betrachtet werden, so lange seine Bahn nicht durch die Attraction der Planeten eine wesentliche Veränderung erfährt.

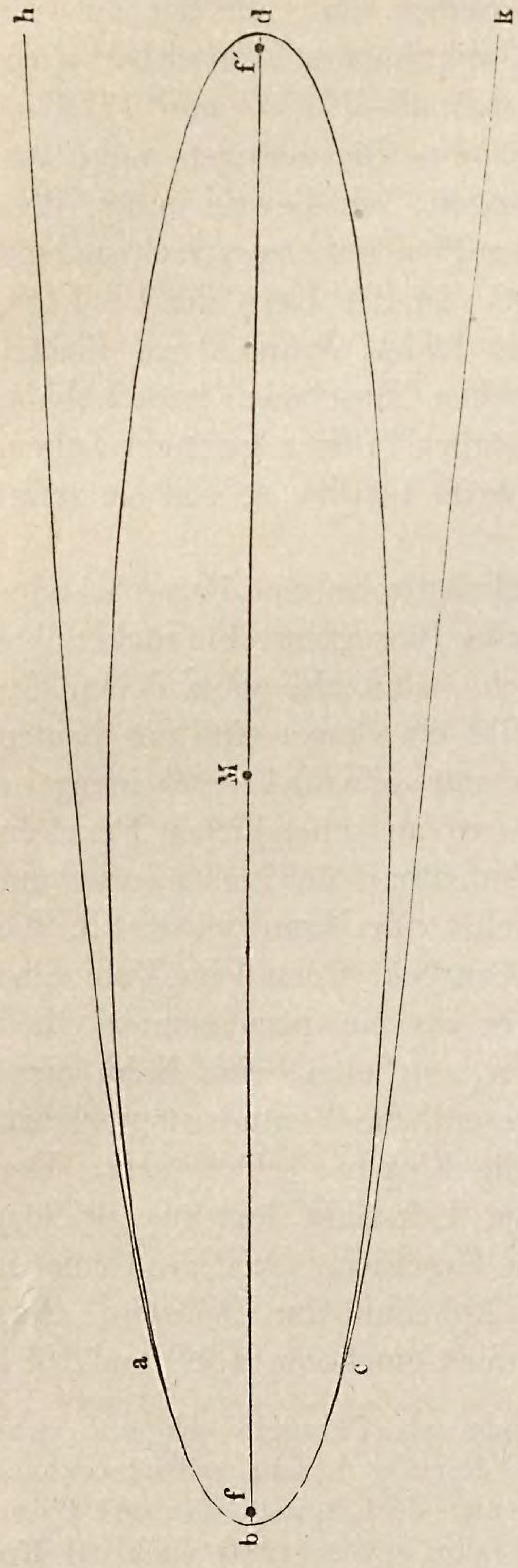
Auch für die Cometen gilt das zweite Kepler'sche Gesetz: Der von der Sonne zum Cometen gezogene Leitstrahl legt in gleichen Zeiten gleiche Flächenräume zurück. Die Geschwindigkeit des Cometen ist also im Perihelium am grössten, im Aphelium am kleinsten. Aus Encke's Rechnungen ergab sich, dass der Comet von 1680 und 1681

[1]) Der erste, welcher die Cometenbahnen als Parabeln erkannte, war Johann Hevelius (1668). Ebenso nahm derselbe bereits stillschweigend die Sonne als Brennpunkt dieser Parabeln an; doch sprach dies erst Dörfel, Diakon zu Plauen im Vogtlande, 13 Jahre später (1681) nach der Erscheinung des grossen Cometen von 1680 mit klaren Worten aus. (Gustav Hoffmann in dem Programm der Annen-Realschule zu Dresden von 1870. S. 37—49.) Durch Newton's grosse Entdeckungen sollte jene Annahme bald ihre wissenschaftliche Begründung erhalten.

im Perihelium 53 geogr. Meilen, im Aphelium aber nur 3,2 Meter in der Secunde zurücklegt.

Meistens werden die Cometenbahnen als parabolische dargestellt; Damit ist jedoch nicht ausgeschlossen, dass sich die Cometen in einer langgestreckten elliptischen Bahn bewegen. Eine Parabel nämlich und eine stark excentrische Ellipse, welche einen gemeinschaftlichen Brennpunkt *f* (Fig. 15) und einen gemeinschaftlichen Gipfel *b* haben, fallen in der Nähe desselben, d. h. in der Nähe des Perihels sehr nahe zusammen. Das Bogenstück *a b c* kann demnach sowohl ein Stück der Parabel *h a b c k*, als auch der Ellipse *a b c d* sein. Da nun die Cometen nur in der Nähe ihres Perihels sichtbar sind, so darf man die Cometenbahn ebenso wohl als parabolisch wie elliptisch betrachten. Gewöhnlich nimmt man für sie eine parabolische Gestalt an, da die Berechnung einer parabolischen Bahn ungleich einfacher ist als die einer elliptischen. Berechnet man aber nach den beobachteten Cometenorten eine elliptische Bahn, so ist natürlich für grosse Axe und Umlaufszeit keine genauere Bestimmung möglich.

Fig. 15.



Der bedeutendste der wiederkehrenden Cometen ist der Halley'sche, welcher in den Jahren 1456, 1531, 1607, 1682, 1759 und 1835 gesehen worden ist, folglich eine Umlaufszeit von nahezu 76 Jahren hat und somit im Jahre 1911 wieder erscheinen wird. Alle anderen Cometen, deren Umlaufsperiode bekannt ist, sind nur teleskopisch sichtbar. Zu ihnen gehören der Encke'sche Comet (Umlaufszeit 1208 Tage, seit 1818 beobachtet), dessen Umlaufsperiode bei jeder

Rückkehr um drei Stunden verkürzt erscheint, der Biela'sche Comet (Umlaufszeit 6,7 Jahre, 1772 entdeckt, seit 1852 nicht mehr gesehen, s. S. 126 f.), der Faye-Möller'sche Comet (Umlaufszeit 7,4 Jahre, 1843 entdeckt), Brorsen's Comet (Umlaufszeit 5,5 Jahre, 1846 entdeckt) u. a.

Die Cometen dringen häufig tief in unser Sonnensystem ein; ja sie gehen bisweilen sogar zwischen Mercur und Sonne hindurch. So war der Comet von 1680 am 17. December des genannten Jahres nur um den sechsten Theil des Sonnendurchmessers, nämlich 32 000 geogr. Meilen von der Sonnenoberfläche entfernt; er war ihr also mehr als 600 mal so nahe wie die Erde. Durchschneidet nun ein Comet auf seinem Wege die Erdbahn, so ist es möglich, dass er auf unseren Planeten trifft. Obwohl die Cometen aus einer in so hohem Grade verdünnten Materie bestehen, dass sie der berühmte Physiker Babinet scherzweise, aber bezeichnend „sichtbare Nichtse“ („riens visibles“) nennen konnte, so dürfen wir doch nicht glauben, dass ein Zusammenprall derselben mit der Erde keine weiteren Folgen haben würde. Wäre z. B. der Kern des Donati'schen Cometen, dessen Gewicht Faye mit demjenigen einer 9000 Quadratmeilen grossen und 100 Meter tiefen See vergleicht, mit der Erde zusammengestossen, d. h. mit einer 25 600 Billionen Kilogramm wiegenden Masse bei einer Geschwindigkeit von 10 geogr. Meilen per Secunde (4 kommen davon auf die Erde, 6 auf den rückläufig sich bewegenden Cometen), so würden sich nach Faye's Berechnung [1]) augenblicklich auf derjenigen Hemisphäre, welche den Stoss erlitten hätte, 51 Millionen Calorien Wärme per Quadratmeter entwickelt haben, Wärmemengen, welche hinreichen würden, einen Theil der festen Erdkruste aufzulösen und in Dampfform zu verwandeln. Kein organisches Wesen auf der betreffenden Hemisphäre könnte eine derartige Katastrophe überdauern. Glücklicher Weise ist die Wahrscheinlichkeit eines solchen Zusammenstosses äusserst gering; auch tragen selbst die entferntesten geologischen Zeitalter keine Spuren eines ähnlichen Ereignisses. Wir dürfen demnach die Cometen immerhin als harmlose Himmelskörper betrachten, die nicht im Stande sind, den Frieden der Welt zu stören.

Die Wiederkehr der Cometen lässt sich überdies niemals sicher behaupten, weil die Bewegungen ihrer wenig gewichtigen, nebelhaften Körper leicht gestört werden können, wenn sie in die Nähe irgend eines Planeten kommen, der sie mächtig anzuziehen vermag. Ihre grösste Gefahr droht ihnen immer in der Nähe der Jupiterbahn; die Jupiterwelt ist, wie Sir John Herschel geistreich bemerkt, der Stein, über welchen die meisten Cometen stolpern.

[1]) Nature Vol. X, Nr. 247. 23. July 1874, p. 229.

Der nach dem Astronomen Lexell benannte Comet von 1770 bewegte sich auf einer elliptischen Bahn, die etwas ausserhalb der Jupiter- und innerhalb der Venusbahn gelegen war und von dem Cometen in etwa $5^1/_2$ Jahren durchlaufen wurde. Als der Comet aber nicht bloss im Jahre 1776, wo er wegen seiner Stellung zur Sonne nicht wohl sichtbar sein konnte, sondern auch im Jahre 1781 sich den Blicken der irdischen Beschauer entzog, so begann man seine Bewegungen genauer nachzurechnen, und es ergab sich, dass der Comet in das Bereich des starken Jupiter gerathen und ihm noch näher gekommen war als der vierte Mond; in dieser Stellung aber zog ihn der gewaltige Planet 200 mal stärker an als die Sonne. Dadurch wurde der Comet gänzlich von seiner früheren Bahn abgelenkt, und er eilte in neue Fernen hinaus. Hatte Jupiter also das Lexell'sche Gestirn zu einem Cometen von kurzer Periode umgewandelt, so nahm er später im Jahre 1779 wieder durch das Spiel seiner Anziehungskräfte, was er der Erde zuvor bescheert hatte.

Aehnliches ereignete sich mit dem bereits in den Jahren 1772 und 1805 erschienenen Biela'schen Cometen. Biela, der ihn im Jahre 1826 beobachtete, wies nach, dass er seinen Weg um die Sonne in 6,7 Jahren vollende. Im December 1845 bemerkte Maury zu Washington, dass er sich in zwei etwa 40000 geogr. Meilen von einander entfernte Cometen von ähnlicher Gestalt aber ungleicher Dimension getheilt hatte; beide bestanden aus Kopf und Schweif. Bei der nächsten Wiederkehr im Jahre 1852 hatte sich ihr gegenseitiger Abstand auf 350 000 geogr. Meilen, also fast um das 9fache vergrössert. Im Jahre 1859 konnten sie wegen ihrer Stellung zur Sonne nicht gesehen werden; doch trat auch die im Winter 1865/66 erwartete Wiederkehr nicht ein. Als am 27. November 1872 zahlreiche Sternschnuppen fielen, deren parabolische Elemente mit den entsprechenden Elementen des Biela'schen Cometen nahezu übereinstimmten, deren Bahnen er also offenbar folgt, telegraphirte Klinkerfues wenige Tage darauf nach Madras und forderte den dortigen Astronomen Pogson auf, den Biela'schen Cometen an derjenigen Stelle des südlichen Himmels zu suchen, welche dem Radiationspunkte jener Sternschnuppen (γ Andromedae) diametral gegenüber liegt, also in der Nähe von ϑ Centauri. Wirklich entdeckte Pogson in der Nacht vom 2. zum 3. December einen schwachen Cometen, der nach der Annahme einiger Astronomen mit einem der beiden Köpfe von Biela's Comet identisch ist. Von anderer Seite wird dies freilich bezweifelt, da dieser Comet den früheren Bestimmungen zufolge sein Perihel bereits am 6. October 1872 passirt hat, nach zwei Monaten also schon weit von dem Orte entfernt sein musste, an welchem sich der

Pogson'sche Comet am 3. December befand [1]). Es ist daher wahrscheinlich, dass jener Dual das Schicksal des Goethe'schen Fischerknaben erlitten hat: er ward nicht mehr geseh'n.

Von den Bahnen der Cometen wenden wir uns nun zur Betrachtung ihrer physischen Beschaffenheit.

Was die Stoffe anlangt, aus denen die Cometen gebildet sind, so lässt sich hierüber zur Zeit noch wenig Sicheres angeben [2]). Die Spectra aller bis jetzt untersuchten Cometen bestanden aus wenigen hellen Linien oder besser lichten Streifen, wozu meist ein sehr schwaches continuirliches Farbenbild hinzutrat. Daraus geht hervor, dass sie eigenes, von einem glühenden Gase herrührendes Licht aussenden, während ein anderer Theil reflectirtes Sonnenlicht ist. Leider sind seit der Anwendung der Spectralanalyse in der Astronomie nur lichtschwache Cometen erschienen. Zu den hellsten derselben gehören noch der Brorsen'sche (I des Jahres 1868) und der Winnecke'sche (II des Jahres 1868). Das Spectrum des ersteren zeigte nach Huggins drei lichte Streifen; doch konnte eine Coincidenz derselben mit den Spectrallinien irdischer Stoffe nicht nachgewiesen werden. Das ebenfalls von Huggins untersuchte Spectrum des Winnecke'schen Cometen bestand aus drei Streifen, welche nach dem rothen Ende des Spectrums scharf begrenzt, nach dem violetten Ende verwaschen waren; in diesem Falle ergab sich eine auffallende Aehnlichkeit mit den Spectrallinien des elektrischen Funkens in Olivenöl und in ölbildendem Gase. Sonach war die cometarische Materie wahrscheinlich Kohlenwasserstoff. Viel zu rasch hat man daraus geschlossen, dass die Cometen überhaupt aus Kohlenwasserstoff gebildet seien. Unter den neun in dem Zeitraum von 1864 bis 1871 spectroskopisch untersuchten Cometen zeigten die Spectra von fünf sicher keine Uebereinstimmung mit dem Kohlenwasserstoffspectrum; dasselbe gilt jedenfalls auch für ein sechstes (das des Cometen II des Jahres 1867). Bezüglich des Encke'schen Cometen (III des Jahres 1871) sind die Ansichten widersprechend: Huggins hat sich für, Young und Vogel haben sich gegen die Uebereinstimmung seines Spectrums mit dem Kohlenwasserstoffspectrum erklärt. Bei einem achten fehlen genauere Angaben über die Lage der Linien; somit bleibt von jenen neun nur Winnecke's Comet übrig, dessen Spectrum dem des Kohlenwasserstoffes nahezu gleich ist.

[1]) J. Müller, l. c. S. 259. Vgl. auch Nature Vol. VI, Nr. 166. 2. January 1873, p. 163.

[2]) Vgl. H. Vogel: „Ueber die Spectra der Cometen" in Poggendorff's Annalen, Bd. CXLIX (1873), S. 400—408.

Von dem Cometen I des Jahres 1866 vermuthet Huggins, dass die ihn bildende Materie Stickstoff sei, da das Spectrum desselben nur aus einem lichten Streifen zu bestehen schien, welcher mit der hellsten Stickstofflinie nahezu zusammenfiel. Indessen bemerkte Secchi im Spectrum desselben Cometen noch zwei andere Linien, welche durchaus nicht mit den übrigen Stickstofflinien coincidirten. Spätere Untersuchungen, welche Huggins an dem lichtstärkeren Brorsen'schen Cometen ausführte, bestätigten, dass keine Uebereinstimmung zwischen dem Spectrum des Stickstoffs und dem des Cometen besteht.

Auf ebenso unsicherer Grundlage beruht die Annahme, dass Wasserdampf in den Cometen sein müsse. Man hat hierfür angeführt, dass das Gesammtbild des Cometen nicht weiss, sondern gelbröthlich erscheine und somit eine Farbe besitze, welche das Sonnenlicht beim Durchgang durch eine grosse Schicht atmosphärischen Wasserdampfes annimmt. Doch könnte diese Farbe ebenso gut durch andere Dämpfe erzeugt werden; auch müssen wir das eigene (nicht reflectirte) Licht der Cometen nach den bisherigen spectroskopischen Untersuchungen als ein grünlich gefärbtes ansehen, da alle Cometenspectra zwei oder drei helle Streifen zeigten, von denen der eine im Gelb, der zweite, lichtstärkste im Grün und der schwächste im Anfang des Blau lag. Von dem continuirlichen Spectrum, das neben jenen Streifen meist sehr matt erscheint, ist nur der hellste Theil — Gelb, Grün und der Anfang des Blau -- sichtbar; das Gesammtbild des Cometenspectrums wird somit immer noch einen grünlichen Grundton erkennen lassen. In der That stimmen einzelne Beobachtungen damit überein. So hat Sir W. Herschel den Kopf des Cometen von 1811, W. Struve den Halley'schen Cometen im Jahre 1825 und Winnecke den Schweif des Cometen von 1862 in bläulich-grüner Färbung gesehen.

Aus alledem geht hervor, dass unsere Kenntnisse über die Cometenstoffe noch sehr ungenügend sind. Möglich ist es, dass beim Wiedererscheinen hellerer Cometen die spectroskopischen Untersuchungen bessere Erfolge aufzuweisen haben; doch dürfen wir uns nicht verhehlen, dass es grosse Schwierigkeiten bietet, „die in den Cometen glühenden Gase durch Vergleichung der Spectren mit den in Geissler'schen Röhren durch den elektrischen Funken zum Leuchten gebrachten Gasen zu bestimmen, da jedenfalls in dem Inneren des Cometen Druck- und Temperaturverhältnisse herrschen, die uns auch nur im Entferntesten nachzuahmen unmöglich sein werden und durch welche, wie wir wissen, das Spectrum starken Modificationen unterworfen ist“[1]).

[1]) H. Vogel a. a. O. S. 404.

Auch über die den Cometen zukommenden Temperaturen lässt sich noch nichts Entscheidendes aussprechen. Lockyer macht darauf aufmerksam [1]), dass in dem Spectrum des Kernes das blaue Ende nur mangelhaft entwickelt zu sein scheint; demnach müsste die Temperatur der Cometen eine relativ niedrige sein. Auch begründet er dies mit dem Hinweis darauf, dass ihre Spectra meist aus bandartigen lichten Streifen bestehen (er bezeichnet sie deshalb als „channelled-space spectra“). Nach dem jetzigen Stande der Wissenschaft ist wohl die Annahme erlaubt, dass die Cometen aus Stoffen bestehen, welche schon bei sehr niedrigen Temperaturen weissglühen und sich verflüchtigen.

Ausserordentlich schwierig ist es, die Vorgänge, welche sich auf den Cometen vollziehen, auf bekannte physikalische Gesetze zurückzuführen. Es sei uns in dem Folgenden verstattet, auf die beiden wichtigsten der bisher aufgestellten Cometentheorien, auf die Tyndall'sche und Zöllner'sche, etwas näher einzugehen.

Tyndall's Theorie ist im wesentlichen folgende [2]): Jeder Lichtstrahl der Sonne äussert drei verschiedene Wirkungen: Licht-, Wärme- und chemische oder actinische Wirkungen. Nun entdeckte Tyndall, dass, wenn er eine Glasröhre mit völlig durchsichtigen Dämpfen von gewissen Stoffen (wie Amylnitrit oder Allyljodid) anfüllte und auf sie elektrisches Licht warf, die Dämpfe sich sogleich verdichteten und eine Wolke bildeten. Diese Verdichtung wurde nur durch die chemische oder actinische Thätigkeit des Lichtes hervorgebracht. Selbst wenn die Dämpfe in ausserordentlicher Verdünnung angewandt wurden, trat gleichwohl die Wolkenbildung sichtbar ein; allein diese Wolken blieben völlig durchsichtig und wurden von dem Licht einer Kerze so durchdrungen, wie wenn dasselbe durch eine luftleere Röhre gegangen wäre.

Kopf und Schweif des Cometen sind nun nach Tyndall nichts anderes als actinische Wolken, die sich bei der Zersetzung durch die Sonnenstrahlen bilden. Hierbei ist nur die chemische Wirkung der Sonnenstrahlen thätig, während Licht- und Wärmestrahlen den zersetzten Lichtnebel in durchsichtigen Dampf zurückzuführen trachten. So sind denn fortwährend zwei gegnerische Thätigkeiten im Spiel; nur da, wo örtlich in der Masse die chemischen Strahlen das Uebergewicht über die Licht- und Wärmestrahlen behaupten, kann die Bildung eines actinischen Gewölkes eintreten. Dies geschieht zunächst

[1]) Nature Vol. X, Nr. 245. 9. July 1874. p. 180 sq. — Vol. IX, Nr. 231. 2. April 1874, p. 433.

[2]) John Tyndall, Die Wärme betrachtet als eine Art der Bewegung. Herausgeg. von H. Helmholtz und G. Wiedemann. 3. Aufl. Braunschweig 1875. S. 705—713.

am Kopf und im Kern des Cometen. Dort sind die Licht- und Wärmestrahlen bereits aufgezehrt, während die stärkeren actinischen die Nebelbildung hervorrufen. Das Einschrumpfen des Kopfes in der Nähe der Sonne rührt von dem Anprall der calorischen Wellen her, welche seine äussersten dünnsten Schichten auflösen und so seine scheinbare Zusammenziehung verursachen. Kopf und Kern schützen ferner als Schirm die hinter ihnen liegenden Dämpfe vor den Licht- und Wärmewirkungen; so wird das Uebergewicht der actinischen Strahlen hinter dem Kopf und Kern gesteigert; daher erscheint der Schweif des Cometen stets von der Sonne abgekehrt.

Der Schweif ist dieser Theorie zufolge nicht ausgestossener Stoff, sondern Stoff, der sich in denjenigen Sonnenstrahlen niederschlägt, welche die Cometenatmosphäre durchschneiden. Tyndall hat experimentell bewiesen, dass dieser Niederschlag entweder mit verhältnissmässiger Langsamkeit längs des Strahles eintreten oder so gut wie in einem Moment in der ganzen Länge des Strahles stattfinden kann, woraus sich die erstaunliche Schnelligkeit der Schweifbildung erklärt. Ferner besteht der Schweif, während der Comet in seiner Sonnennähe eine bedeutende Schwenkung vollzieht, nicht stets aus einem und demselben Stoff, sondern aus neuem Stoff, der sich in den Sonnenstrahlen niederschlägt, welche die Cometenatmosphäre in neuen Richtungen durchdringen. So erklären sich auch die ungeheuren Schwankungen des Schweifes, ohne dass man eine entsprechende Fortbewegung der Materie anzunehmen braucht.

Interessant ist an dieser Hypothese besonders der Umstand, dass es Stoffe giebt von so seltsamem Gewebe, dass sie sichtbare Wolken bilden und doch das Licht ungehindert hindurch lassen.

Da die actinischen Wirkungen auch bei millionenfachen Verdünnungen noch eintreten, so rechtfertigt sich die Vermuthung, dass zur Hervorrufung des Donati'schen Gestirns wenige Neuloth von Allyljodid ausgereicht hätten. Nach dieser Theorie sinken die Cometen in unseren Augen zu photographischen Gespenstern herab.

Zöllner erhebt gegen die Tyndall'sche Theorie folgende Einwände[1]:

Die Flüssigkeiten, an deren Dämpfen Tyndall in seinem Laboratorium die actinische Zersetzung durch Lichtstrahlen beobachtet hat, sind im allgemeinen Verbindungen von Chlor, Brom, Jod, theils unorganischer, theils organischer Natur („Nitrite of amyl, Hydrobromic-Acid, Hydriodic-Acid, Allyljodid"). Da nun derartige Dämpfe nicht

[1]) Fr. Zöllner, Ueber die Natur der Cometen. Leipzig 1872. S. 183 ff.

einmal in unserer Atmosphäre vorkommen, so dürfen wir ihre Existenz im Weltraum mit vollem Rechte bezweifeln.

Wenn ferner Kopf und Schweif Wirkungen derselben Ursache sind, für die Bildung des letzteren aber der Schatten des Kopfes nothwendig ist, welcher die calorischen Strahlen stärker als die actinischen absorbirt, so ist man zu der sonderbaren Annahme gezwungen, dass auch vor dem Kopfe des Cometen ein sonst nicht wahrnehmbarer Stoff oder Körper besteht, welcher die calorischen Strahlen des Sonnenlichtes stärker als die actinischen absorbirt und hierdurch den letzteren in seinem Schatten ein Uebergewicht verschafft.

Endlich ist es nach dem Gesetze von der Erhaltung der Kraft unmöglich, dass — wie Tyndall behauptet — die actinischen Strahlen durch die Wirkungen, welche sie bei der Zersetzung der Dämpfe im Kopfe des Cometen erzeugen, nicht geschwächt, sondern verstärkt werden; im Gegentheil muss da, wo Wirkungen entstehen, eine diesen Wirkungen proportionale Quantität von Ursachen verschwinden.

Zöllner hat in seinem mit ebenso grossem Scharfsinn als mit kritischem Urtheile geschriebenen Werke „Ueber die Natur der Cometen" (Leipzig 1872) eine neue Theorie über Cometenbildung aufgestellt. Das wesentliche Verdienst derselben besteht darin, dass die Erklärung der cometarischen Erscheinungen keine neuen verborgenen Kräfte in Anspruch nimmt, sondern nur die bekannten und auch deren Wirkungen nur, insoweit sie unter irdischen Verhältnissen beobachtet worden sind. Er folgt der von Olbers und Bessel bereits gegebenen Andeutung, dass die Cometenentwicklung ein elektrisches Phänomen sei.

Zöllner erklärt die Cometenbildung in folgender Weise:

Frei im Weltraum schwebende Gase verdichten sich unter gewissen Bedingungen der Temperatur und des Druckes zu kosmischen Massen, deren Aggregatzustand verschiedenartig, doch nie stabil sein kann. Eine feste Begrenzung nach aussen besitzen sie schon nicht wegen der in dieser Richtung fortwährend stattfindenden Verdunstung jedes kosmischen Stoffes, welche sich so lange aus dessen Innerem entwickelt, als dies der Druck der auf solche Weise selbstgebildeten Atmosphäre zulässt. Befindet sich eine derartige Masse an einer Stelle des Weltraumes, wo die Strahlung keines Fixsternes wesentlich überwiegt, so muss sie die Temperatur des Weltraumes annehmen (nach Pouillet's Berechnung — 142° C.). Gelangt sie jedoch durch Attraction eines Fixsternes (z. B. der Sonne) in die Nähe einer strahlenden Wärmequelle, so muss vor allem auf der der Strahlung ausgesetzten Seite ein Verdampfungs- und Siedeprocess stattfinden, der ihren Aggregatzustand energisch verändert und um so gewaltsamer ihre ganze

Masse ergreift, je kleiner diese im Verhältniss zur Grösse und Intensität der Wärmequelle ist. Im Anziehungsbereich der Sonne werden sich uns darum flüssige Meteormassen — und ihr Vorkommen unter den zahllosen festen Massen im Weltraum kann wohl kaum bestritten werden — als Körper zeigen, die von einer Dunsthülle umgeben sind; je geringer ihre Grösse ist, desto häufiger erscheinen sie als gleichförmig durchstrahlte Dampfkugeln. Wir erkennen in diesen das Bild der kleinen Cometen, und es erklärt sich uns nun, dass sie als flüssige Meteore dieselben Bahnen ziehen wie die Meteor- und Sternschnuppenschwärme.

Die Cometen bieten jedoch ausser den angeführten Erscheinungen noch andere dar, welche durch die bisher vorausgesetzten allgemeinen Eigenschaften flüssiger Körper nicht erklärt werden können. Diese Erscheinungen sind: 1. die durch die Spectralanalyse bewiesene eigene Lichtentwicklung und 2. die Bildung der Schweife und ihre eigenthümliche Beziehung zur Sonne. Nun kennen wir aber nur zwei Ursachen, durch welche dampf- oder gasförmige Körper selbstleuchtend werden: entweder durch Temperaturerhöhung (wie beim Verbrennungsprocess) oder durch elektrische Erregung (wie beim Ausströmen der Elektricität aus Spitzen oder bei ihrem Durchgange durch luftverdünnte Räume). Zöllner entscheidet sich für die zweite Ursache und zwar vor allem deshalb, weil die erstere in keinem Falle die Schweifbildung hervorrufen könnte, also offenbar zur Erklärung dieser Erscheinung noch eine zweite Ursache angenommen werden müsste. Hingegen lässt sich aus der Annahme einer elektrischen Erregung der cometarischen Dunsthülle nicht bloss das Selbstleuchten der Cometen, sondern zugleich auch die Schweifentwicklung in einfacher, ungezwungener Weise ableiten.

Durch zahlreiche Versuche von Pouillet, Faraday, Riess u. a. ist es erwiesen, dass das mechanische Zerreissen von Flüssigkeitstheilchen beim Zerstäuben von Wasserstrahlen eine sehr ergiebige Elektricitätsquelle ist. Da nun die Dunsthülle der Cometen durch einen permanenten Verdampfungs- und Siedeprocess in Form von Blasenentwicklung aus dem Innern der Flüssigkeit erzeugt wird, so dürfen wir in der hierbei stattfindenden mechanischen Trennung und Zerstäubung in feinere Tröpfchen eine reiche Elektricitätsquelle erkennen. „Das Spectrum der auf diese Weise elektrisch leuchtenden Dunsthülle eines Cometen muss nothwendig dasjenige sein, welches beim Uebergange der Elektricität durch die vom flüssigen Kerne entwickelten Dämpfe erzeugt wird. Besteht dieser Kern aus einem Gemenge verschiedener Flüssigkeiten, so wird bei schwacher Elektricitätserregung zunächst nur das Spectrum desjenigen Stoffes er-

scheinen, dessen Emissionsvermögen bei niedrigen Temperaturen das grössere ist."

Sowohl die Richtung des Schweifes als auch die Abhängigkeit seiner Länge von der Annäherung des Cometen an die Sonne weisen auf einen engen Zusammenhang zwischen der Schweifbildung und den Sonnenkräften hin. Weder die Gravitation, noch die Licht- und Wärmewirkung der Sonne vermögen uns jedoch die Eigenthümlichkeiten des Cometenschweifes zu erklären. Die Wärmekräfte der Sonne werden zwar, wenn sich der Comet im Perihel befindet, eine beträchtlich verstärkte Dampfentwicklung der kosmischen Flüssigkeitsmasse hervorrufen, also reiches schweifbildendes Material erzeugen; warum der Schweif jedoch von der Sonne abgewandt ist, dafür lässt sich auch hierin kein Grund finden. Wir sind demnach zur Annahme einer elektrischen Fernewirkung der Sonne gezwungen, um alle wesentlichen und charakteristischen Erscheinungen der Schweife und Dunsthüllen der Cometen ableiten zu können.

Dass die Sonne wirklich ein mächtiger Elektricitätsquell ist, kann wohl kaum bezweifelt werden. Sind schon die thermischen und mechanischen Vorgänge auf und in der Erde, d. h. die meteorologischen und vulcanischen Processe die Quelle einer intensiven Elektricitätserregung, so dürfte dies noch viel mehr von den Bewegungen auf der Sonnenoberfläche gelten, wo beständig gewaltige Dampf- und Gasströme in Form eruptiver Protuberanzen mit ungeheurer Gewalt hervorbrechen (vgl. S. 75).

Da nun nach dem Obigen die aus den flüssigen Kernen der Cometen sich bildenden Dämpfe ebenfalls als elektrisch vorausgesetzt werden mussten, so bedarf es nur noch der Annahme, dass Sonnen- und Cometenelektricität gleichartig sind, um die Entwicklung der Schweife nach einer von der Sonne abgewandten Richtung zu erklären. Nimmt man also an, dass die Dunsthülle der Cometen — gleich dem zerstäubenden Wasser — negativ elektrisch erregt werde, so müsste man auch auf der Sonnenoberfläche freie negative Elektricität voraussetzen. Aenderte sich durch irgend welche Umstände das Vorzeichen der Elektricität, — und Faraday hat erwiesen, dass dies durch eine geringe Beifügung fremder Substanzen bewirkt werden kann, — so müsste ein der Sonne zugekehrter Schweif erscheinen. Ein Beispiel dafür bietet uns der Comet von 1823, der, wie schon erwähnt, zwei Schweife hatte, von denen der eine von der Sonne abgewandt war, während der andere einen Winkel von 160° mit diesem bildete.

Nach der Theorie Zöllner's kann die Entwicklung der Cometen-

schweife nicht anders als durch eine wirkliche mechanische Bewegung der elektrisirten Dampftheilchen erklärt werden. Zöllner macht einen derartigen Vorgang wahrscheinlich durch den Hinweis auf die Thatsache, dass staubartige Substanzen unter dem anziehenden und abstossenden Einfluss freier Elektricitätsmengen viel schnellere Bewegungen ausführen als grössere, z. B. Holundermarkkügelchen. In Folge ihrer Kleinheit erhalten die einzelnen Gasmoleküle bei ihrem Uebergang in luftverdünnte Räume wahrscheinlich so grosse Geschwindigkeiten, dass ihre mittlere lebendige Kraft der Temperatur des Glühens entspricht.

„Steht ein Körper gleichzeitig unter dem Einfluss der Gravitation und freien Elektricität eines anderen, so prävalirt bei zunehmender Masse die Gravitation, bei abnehmender Masse die Elektricität als bewegende Kraft. Daher stehen die Kerne der Cometen, als tropfbarflüssige Massen, unter dem Einflusse der Gravitation, die entwickelten Dämpfe, als Aggregate sehr kleiner Massentheilchen, unter dem Einfluss der freien Elektricität der Sonne.“

Hankel[1]) hat an einem ziemlich heiteren Septembernachmittage auf freiem Felde bei Leipzig die Luftelektricität gemessen und sie so gross gefunden, dass einer kleinen Kugel von der Masse eines Milligrammes unter dem Einflusse dieser Kraft in einer Secunde eine mehr als 7 mal so grosse Beschleunigung als durch die Schwere ertheilt werden konnte. Hieraus geht hervor, dass es zur Erklärung der wesentlichsten Erscheinungen der Cometen vollkommen genügen würde, der Sonnenoberfläche selbst quantitativ nur diejenigen elektrischen Eigenschaften beizulegen, welche man durch directe Beobachtungen an der Erdoberfläche nachzuweisen im Stande ist.

Aus der Zöllner'schen Theorie ergiebt sich mit Nothwendigkeit, dass bei jeder Temperatursteigerung des Weltraumes eine bestimmte Anzahl kleiner Cometen für unsere Wahrnehmung verschwinden muss, indem die nebelartigen Verdichtungsproducte, welche uns diese Körper bei niedriger Temperatur sichtbar machen, alsdann durch die Wärme aufgelöst werden. Somit würden unter sonst gleichen Verhältnissen bei eintretender Wärmeverminderung mehr kleine Cometen auftauchen als bei Temperaturerhöhung. Zöllner hatte deshalb vermuthet, dass die Anzahl der jährlich entdeckten kleinen Cometen periodischen Schwankungen unterworfen sei, deren Maxima und Minima mit denen der Sonnenflecken, also den Zeiten geringerer oder grösserer Wärmeentwicklung, zusammenfallen oder, nach Analogie meteo-

[1]) Abhandlungen der math.-phys. Classe der Kgl. Sächs. Gesellschaft W. Bd. III (1857), S. 381 ff.

rologischer Wirkungen, denselben um weniges nachfolgen. Diese Vermuthung hat sich in überraschender Weise bestätigt; denn Bruhns hat gefunden[1], dass in den Jahren 1865 und 1866 merkwürdig wenig Cometen erschienen; 1856 war gar kein Comet sichtbar; ebenso zeigten sich zur Zeit der früheren Sonnenfleckenminima, nämlich 1800, 1810 bis 1811, 1822 bis 1823, 1834 bis 1835, 1843 bis 1844 ziemlich grosse Intervalle. Selbstverständlich wurden die periodischen Cometen hierbei nicht berücksichtigt. So bietet also die statistische Behandlung der neu entdeckten kleinen Cometen kommenden Geschlechtern ein Mittel, die allmählich fortschreitende Abkühlung des Sonnenkörpers empirisch nachzuweisen.

[1]) Astronomische Nachrichten Nr. 1631.

ZWEITER THEIL.

DER ERDKÖRPER.

I. Gestalt und Grösse der Erde.

Die Grösse der Erde zu bestimmen war so lange unmöglich, als man nicht eine annähernd richtige Vorstellung von ihrer Gestalt hatte. Die Gestalt eines Körpers ist ja massgebend für das mathematische Verfahren, welches wir anwenden, um seine Grösse zu ermitteln. Wir betrachten darum zuerst die Gestalt der Erde und dann ihre Grösse, wobei wir uns immer bewusst bleiben, dass erst durch genaue Messungen die Anomalien in der Gestalt des Erdkörpers festgestellt werden konnten.

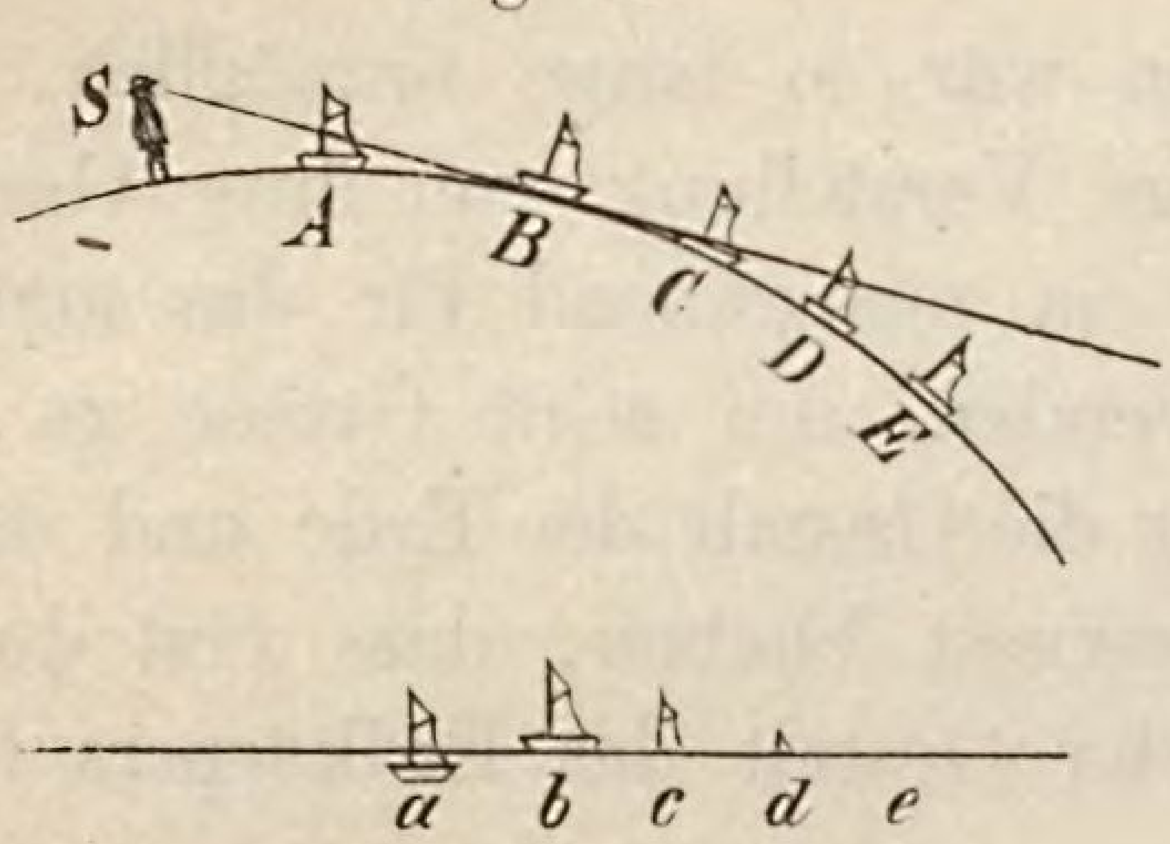
Nur überlegene Geister konnten sich vordem lossagen von dem mächtigen Zeugniss der Sinne, das der wahren Erkenntniss entgegen stand, und sich zu der Anschauung hindurchringen, dass die Erde nicht auf festem Grunde ruhe, dass die Meeresfläche kugelförmig gekrümmt sei, dass der Erdkörper diese Krümmung theile, dass er somit nicht die Gestalt einer Scheibe, sondern die einer Kugel habe und dass die Richtung der fallenden Körper gegen den Mittelpunkt dieser Kugel die Begriffe Unten und Oben bedinge.

Pythagoras (im 6. Jahrhundert v. Chr.) scheint der erste gegewesen zu sein, welcher der Erde eine Kugelgestalt zuschrieb. Er lehrte, dass die Erde als ein vollkommener Körper auch diejenige Gestalt besitzen müsse, welche als die vollendetste galt: die der Kugel. Also nicht aus mathematischer Ueberzeugung, sondern aus geometrischen Schicklichkeitsgründen hielt er die Erde für eine Kugel. Der älteste Gelehrte, welcher aus mathematischen Gründen die Kugelgestalt annahm, ist Parmenides aus Elea (um 460 v. Chr.). Aristoteles (384—322 v. Chr.) bewies die Kugelgestalt der Erde aus der bogenförmigen Grenze des Erdschattens bei Verfinsterungen des Mondes, sowie aus dem Verschwinden, resp. Auftauchen von Gestirnen, wenn man in der Richtung von Süd nach Nord oder von Nord nach Süd seine Stellung um eine beträchtliche Grösse verändert. Archimedes

(287—212 v. Chr.) fügte einen auf die Gesetze der Hydrostatik gegründeten Beweis hinzu, dass auch die Meeresspiegel Theile einer Kugelfläche sein müssten. Ptolemäus (87—165 n. Chr.) erhärtete diese Lehre durch die bekannte sinnliche Wahrnehmung, dass auf hoher See zuerst die Spitzen von Küstengegenständen sichtbar werden und dass Schiffe, die sich vom Lande entfernen, für den an der Küste stehenden Beobachter sich nicht nur verkleinern, sondern auch — zunächst in ihren unteren Partien, schliesslich auch mit ihren Masten — verschwinden und gleichsam unter die Meeresfläche hinabtauchen [1]).

Nehmen wir z. B. an, wir stünden bei *S* (Fig. 16) und ein Schiff segelte von unserem Standpunkte hinweg, so werden wir, so lange sich das Schiff noch in geringer Entfernung von uns befindet, dasselbe ganz erblicken und zwar unterhalb der Linie, welche den sichtbaren Horizont bezeichnet *(a)*. Ist es auf der Höhe des sichtbaren Horizontes angelangt, also in gleicher Höhe mit diesem, so bemerken wir (schon in abnehmender Grösse) noch einmal den ganzen Schiffskörper *(b)*. Sobald es jedoch diesen Punkt passirt hat, verkleinert sich nicht nur der sichtbare Theil, sondern das Schiff verschwindet auch allmählich, als sänke es unter die Oberfläche. Zuerst vermissen wir seinen Rumpf *(c)*; dann aber steigen auch Masten und Segel *(d* und *e)* unter den Horizont hinab. Die sphärische Oberfläche der Erde ist es, welche zwischen sie und uns tritt.

Fig. 16.



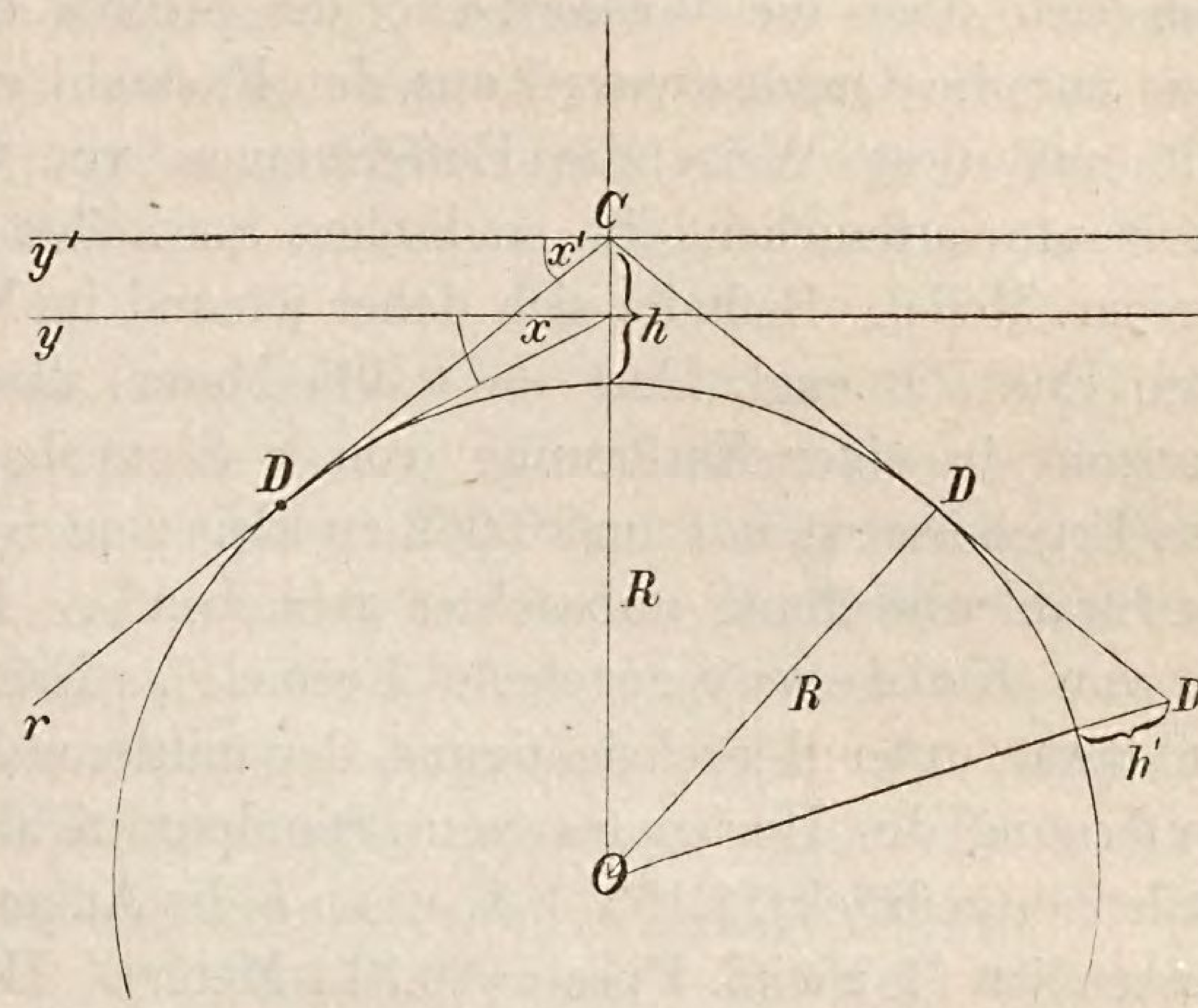
Die besprochene kugelförmige Wölbung des Oceans hat für gewisse Völker eine praktische Bedeutung: malayische Stämme benützen sie nämlich als eine Art Versteck. Die Dampfer, welche zur Unterdrückung des Piratenthums in den malayischen Gewässern kreuzen, senden natürlich ihren Rauch hoch in die Luft. Somit sind sie die unzweckmässigsten Fahrzeuge zur Verfolgung von Seeräuberprauen; denn man erkennt ihren Rauch am Horizont längst, bevor der Dampfer sichtbar wird, und die Piraten brauchen daher nur in einem rechten Winkel zur Richtung der Dampferlinie abzubiegen, um hinter der Kugelwölbung des Oceans ihre niederen Fahrzeuge zu verbergen. So kam es, dass die niederländischen Dampfboote fast nie auf Seeräuber trafen, obgleich diese dicht vor und hinter jenen ihr Wesen trieben [2]).

[1]) O. Peschel, Geschichte der Erdkunde. 2. Aufl. (herausgeg. von S. Ruge). München 1877. S. 34 f.

[2]) F. Jagor, Reisen in den Philippinen. Berlin 1873. S. 180.

Wäre die Erde eine unbegrenzte flache Scheibe, so würden unsere Blicke bis in's Unendliche über die Erdoberfläche schweifen, falls unserer Sehkraft keine Schranken gesetzt wären. Da jedoch die gekrümmte Erdoberfläche wie ein Wall von Bergen die hinteren Abhänge der Wölbung unseren Blicken verschliesst, so ergiebt sich hieraus nothwendig eine Beschränkung unseres Gesichtskreises. Aus Fig. 17 erkennen wir: Je mehr sich das Auge des Beobachters über die Erdoberfläche erhebt, um so länger werden die von demselben nach der Erdoberfläche gezogenen Tangenten oder — was dasselbe ist — um so mehr erweitert sich der Horizont, d. h. jene Linie, in welcher das Himmelsgewölbe die sichtbaren Theile der Erdoberfläche berührt. Je höher wir uns erheben, um so tiefer sinkt der Horizont herab. Die Grösse dieser sogenannten Depression des Horizontes bezeichnet der Winkel x', welcher durch die auf dem verlängerten Erdradius R im Punkte C normal errichtete (also horizontale) Gerade Cy' und die nach dem Rande des Gesichtskreises gezogene Gerade Cr gebildet wird. Dieser Winkel wächst mit der Erhebung. Er beträgt z B. für eine Höhe von 100 Metern 19′ 26″, für 1000 Meter 1^0 1,4′, für 10 000 Meter 3^0 14,4′.

Fig. 17.



Die Aussichtsweite von irgend einem aus einer ebenen Fläche sich erhebenden Standpunkte lässt sich leicht berechnen, sobald man die Grösse des Erdhalbmessers kennt. Bezeichnen wir denselben mit R und mit h die Höhe des Beobachters, so ist der Halbmesser des Gesichtskreises, CD, da OCD ein rechtwinkliges Dreieck ist, =

$$\sqrt{(R + h)^2 - R^2} = \sqrt{h\,(2\,R + h)}.$$

Der Erddurchmesser 2 R misst aber 1717 geogr. Meilen (1 g. M. = 7420, m). Aus der Formel ergiebt sich für den Gipfel des Grossglockner, dessen Höhe 3796 Meter = 0,5116 geogr. Meilen beträgt, eine Aussichtsweite von $\sqrt{0{,}5116 \times 1717{,}5}$ = 29,6 geogr. Meilen. In-

dess ist die mathematisch berechnete Aussichtsweite deshalb nicht ganz zutreffend, weil die Lichtstrahlen in Folge der verschiedenen Dichtigkeit der Luftschichten nicht in gerader Richtung dieselben durchdringen, sondern gebrochen werden, und zwar bildet der von einem Lichtstrahl zurückgelegte Pfad eine gegen die Erdoberfläche hin concav ausgebogene Linie, wodurch die Sehweite bei normalem Zustande der Luft etwa um $^1/_{13}$ vergrössert wird [1].

Für Abschätzung von Entfernungen genügt folgende einfache Regel der Gebrüder v. Schlagintweit: Weiss man, wieviel englische Fuss man sich über die Wasserfläche des Meeres erhoben hat, so braucht man nur die Quadratwurzel aus der Fusszahl zu ziehen, und man erhält auf diese Weise die Entfernungen von Gegenständen, die am Horizonte auftauchen, in englischen Seemeilen (4 engl. Seemeilen = 1 geogr. Meile). Befindet sich daher jemand im Mastkorb 64 (= 8 × 8) engl. Fuss (1 engl. Fuss = 0,305 Meter) über der See, so liegt der Horizont in einer Entfernung von 8 Seemeilen oder 2 geogr. Meilen. Das Ergebniss ist nur um 0,062 zu klein; auch ist hierbei die Wirkung der Strahlenbrechung unbeachtet geblieben [2]. Ebenso zweckmässig ist die von Koldewey gegebene Formel [3]. Nach derselben beträgt — und zwar unter Berücksichtigung der mittleren Strahlenbrechung — die Entfernung des Horizontes vom Standpunkte des Beobachters, in Seemeilen ausgedrückt, $1{,}163\ \sqrt{h}$, wenn h die Augenhöhe in rheinländischen Fussen ist (1 rheinl. Fuss = 0,314 Meter). Hiernach würde man von dem 60 rheinl. Fuss hohen Maste eines Schiffes einen Kreis übersehen, dessen Halbmesser 9 Seemeilen (= $2^1/_4$ geogr. Meilen) gross ist. Derartige Formeln besitzen namentlich insofern einen besonderen Werth, weil sie uns vor dem Fehler bewahren, Distanzen zu überschätzen.

Für den Seefahrer ist es von Bedeutung zu wissen, wie weit er von der Küste entfernt ist. Hierüber kann ihm das Auftauchen hoher Gegenstände annähernd Aufschluss geben. Befindet sich sein Auge beispielsweise im Punkt D' (Fig 17), so würde eben der Punkt C am Horizonte erscheinen. Nun ist in unserem Falle $CD' = CD + DD' = \sqrt{h\,(2\,R + h)} + \sqrt{h'\,(2\,R + h')}$, wenn h' die Seehöhe des Auges, h die des in der Ferne sich zeigenden Punktes ist. Es ist also die Entfernung eines am Horizonte sichtbar werdenden Punktes durch eine einfache Rechnung zu ermitteln. Hiernach würde man auf einem

[1]) J. Hann, F. v. Hochstetter und A. Pokorny, Allgemeine Erdkunde. Prag 1872. S. 2 f.

[2]) Herm. v. Schlagintweit-Sakünlünski, Reisen in Indien und Hochasien. Jena 1869. Bd. I, S. 29.

[3]) Die zweite deutsche Nordpolarfahrt in den Jahren 1869 und 1870 Leipzig 1874. Bd. I, Abth. II. S. 628.

der Insel Helgoland zusteuernden Schiffe, etwa 4 Meter über der Meeresfläche, das 81,6 Meter hoch über derselben erhabene Leuchtfeuer jener Insel aus einer Entfernung von 39,4 Kilometer oder 5,3 geogr. Meilen erblicken können [1]).

Waren bereits im Alterthum die wichtigsten Beweise für die Kugelgestalt der Erde beigebracht worden, so verbreitete sich diese Wahrheit doch nie unter das Volk, sondern stiess auf Unglauben sogar bei Leuten von solcher Bildung wie Tacitus. Ebenso war man noch im Mittelalter in dem alten Wahn befangen, dass die Erde eine flache Scheibe sei, bis die Araber die alten Erkenntnisse von neuem retteten. Vom 13. Jahrhundert an zweifelte kein Unterrichteter mehr an der Kugelgestalt der Erde [2]). Indessen sollten die Messungen der Erde, zu denen wir nun übergehen, erweisen, dass sie auch keine rein sphärische Form habe.

Die erste Messung des Erdkörpers wurde bereits im alten Aegypten ausgeführt. Kein anderes Land eignete sich auch zu diesem Zwecke besser als das Land der Pharaonen; denn das Nilthal hat annähernd eine meridionale Richtung und ist ferner vollkommen flach, bietet also eine treffliche Gelegenheit, eine längere terrestrische Entfernung genau zu ermitteln. Hierzu kommt, dass die Aegypter wegen der Schlammbedeckung nach den Nilüberfluthungen mehr als irgend ein anderes Volk die Kunst der Feldmessung zu üben genöthigt waren. Es bestanden hier zwei Reihen von Nomen (Bezirke): die eine östlich, die andere westlich vom Nil; die Grenzen der Nomen aber liefen in der Richtung von Ost nach West von dem Strome bis zum Rande der Cultur. Zum Zwecke der Grundsteuererhebung hatte die Regierung jeden Nomos vermessen, d. h. seine Länge von Süd nach Nord, dem Meridiane nach, und die mittlere Breite von Ost nach West feststellen lassen. Durch Multiplication der beiden Grössen ergab sich der Flächeninhalt. Wollte man nun die Ausdehnung des Landes von Süd nach Nord, ohne Rücksicht auf seine seitliche Erstreckung von Ost nach West wissen, so brauchte man nur die Längen der Nomen auf der einen Nilseite zu addiren, und man hatte sogar noch eine Controle, wenn man ebenso die Längen der Nomen auf der anderen Nilseite zusammenzählte [3]).

Auf Grund der angeführten Messungen berechnete der Athener Eratosthenes (276—196 v. Chr.), der von Ptolemäus Euergetes an die alexandrinische Bibliothek berufen worden war, zum ersten Male die Grösse der Erde. Er erwählte zu diesen Berechnungen den Grad-

[1]) J. Hann, F. v. Hochstetter und A. Pokorny, l. c. S. 3.

[2]) O. Peschel, l. c. S. 35. 667.

[3]) A. Sprenger im Ausland 1867, S. 1017.

bogen zwischen Alexandrien und Syene (Assuan) am Nil, von welchen Orten er annahm, dass sie unter dem nämlichen Mittagskreise lägen. Indessen konnte diese irrige Voraussetzung (Alexandrien liegt ziemlich 3 Grad westlicher als Syene) keinen Fehler in der Berechnung herbeiführen, da ja die normalen meridionalen Abstände der Gaugrenzen gemessen worden waren. Eratosthenes wusste nun, dass am längsten Tage in der Nähe von Syene ein etwa 300 Stadien ($^1/_2$ Grad des grössten Kreises) im Durchmesser haltendes Gebiet lag, in welchem senkrecht stehende Gegenstände gleichzeitig keinen Schatten warfen: ein Umstand, der bekanntlich daraus resultirt, dass nicht nur der unter dem Centrum der Sonne gelegene Punkt, sondern auch die Gegenden unter ihren peripherischen Theilen schattenlos sind [1]). Da nun in Alexandrien zur nämlichen Zeit der Winkel, dessen Grösse der Schatten des Sonnenzeigers bestimmte, den 50. Theil eines Kreisbogens betrug, so schloss er mit Recht daraus, dass der Abstand zwischen Syene und Alexandrien dem 50. Theil eines Mittagskreises oder 7° 12′ entsprechen müsse [2]). Nach Eratosthenes ist die Länge eines Meridiangrades = 700 Stadien, der ganze Umfang der Erde somit = 360 × 700 = 252 000 Stadien. Um die Genauigkeit dieser Messungen zu prüfen, hat H. Vincent [3]) sorgfältige Untersuchungen über die Länge des von Eratosthenes angewendeten Stadiums angestellt und gefunden, dass sie gleich ist 158,25 Metern. Hiernach würde ein Meridiangrad 110 775 Meter lang sein. Dieses Resultat stimmt so genau mit den Ergebnissen neuerer Messungen überein, dass man nothwendig zu der

[1]) Der von den alten Schriftstellern, namentlich auch von Plinius erwähnte Brunnen zu Syene wurde jedoch sicher auch zu Eratosthenes' Zeiten nicht genau von dem nördlichen Wendekreise durchschnitten. Syene liegt in 24° 5′ 23″ n. Br., und die Schiefe der Ekliptik beträgt gegenwärtig 23° 27′ 32″; somit müsste die Sonne noch gegen 38′ nach Norden vorrücken, um zur Zeit des Sommersolstitiums senkrecht über Syene zu stehen, und sie würde in einem 47 Meter tiefen Brunnen immer noch einen etwa $^1/_3$ Meter langen Schatten werfen. Nach Lagrange's Berechnungen war die Ekliptikschiefe in historischer Zeit im Jahre 2000 v. Chr. am grössten, nämlich = 23° 53′, so dass die Sonne, streng genommen, auch damals nicht über Syene culminirte. Da jedoch die Sonne am Himmel einen scheinbaren Durchmesser von 32′ hat, so stand der nördliche Sonnenrand zu jener Zeit allerdings über Syene senkrecht, und dies dauerte bis zum Jahre 700 v. Chr., d. h. bis sich die Ekliptikschiefe wieder auf 23° 50′ vermindert hatte. Nur bis zu dieser Zeit konnte der Brunnen jährlich einmal ganz beleuchtet werden. Sprenger im Ausland 1867, S. 1019 f.

[2]) Der wahre Unterschied zwischen Alexandrien (31° 11′) und Syene (24° 5$^1/_2$′) beträgt nur 7° 5$^1/_2$′.

[3]) Note sur la Mesure de la Terre, attribuée à Eratosthène in Nouv. Ann. des Voyages, Mai 1857. Petermann's Mittheilungen 1857, S. 455.

Annahme geführt wird, Eratosthenes habe sich besserer Hilfsmittel bedient, als man gewöhnlich angiebt. Vincent schenkt daher den Berichten des Cleomedes keinen Glauben, nach welchen Eratosthenes zur Zeit des Sommersolstitiums den Schatten eines verticalen Pfahles in Alexandrien gemessen und aus seiner Länge den Gradunterschied zwischen Alexandrien und Syene bestimmt haben soll. Er hält es vielmehr für wahrscheinlich, dass in dem alten Apollinopolis magna, dem heutigen Edfu in Oberägypten, wo sich unverkennbare Spuren alter astronomischer Arbeiten finden, ein unter der Leitung gelehrter Priester stehendes Observatorium bestand, in welchem auch Eratosthenes seine Beobachtungen anstellte.

Sollte, was ebenfalls nicht ausgeschlossen ist, die Längeneinheit des eratosthenischen Stadiums der attische Fuss sein (das Stadium = 600 Fuss, der attische Fuss = 0,30828 Meter), so hätte Eratosthenes nicht 700, sondern $601^3/_4$ Stadien für einen Grad des grössten Kreises finden sollen. Wenn er hiernach die Länge eines Meridiangrades um 100 Stadien überschätzt hätte, so würde Ptolemäus (87—165 n. Chr.) dieselbe um ebenso viel zu niedrig angesetzt haben, da er 500 Stadien für die Länge eines Grades angab. Möglich ist es allerdings, dass diese Differenzen aus dem Gebrauch einer verschiedenen Masseinheit entsprungen sind [1]).

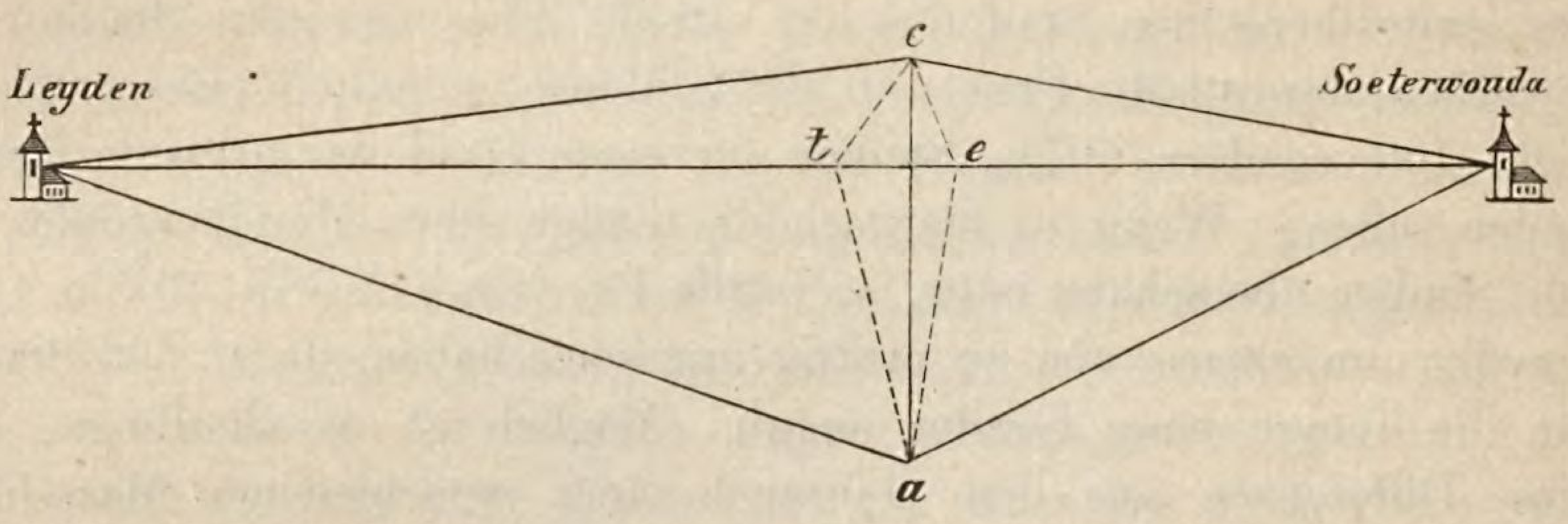
Nach Eratosthenes haben es die Araber versucht, Bogenstücke der Erde zu messen. So wurden unter der Regierung und im Auftrage des Chalifen Mamun (Chalif von 813—833) auf zwei verschiedenen Gebieten, in den Ebenen von Tadmor und von Sindschar (nördlich vom Euphrat), Messungen ausgeführt, und es ergab sich als Länge für einen Meridiangrad 57, resp. $56^1/_4$ arabische Meilen [2]), wofür man einen Mittelwerth von $56^2/_3$ arabischen Meilen (= 122 558,7 Meter) annahm. Dieses Resultat kann wenig befriedigen. Die Unsicherheit der damaligen Messungen wurde nicht bloss hervorgerufen durch Bodenanschwellungen und Abirrungen vom Mittagskreise, sondern besonders dadurch, dass die arabischen Astronomen wegen ungenügender Instrumente die Polhöhen nicht mit der erforderlichen Schärfe zu bestimmen vermochten, zumal sie mit grosser Hast hierbei verfuhren. Da ihre Ergebnisse von denen der ägyptischen Messungen nicht sehr abweichen, so ist die Vermuthung nicht ganz unbegründet, dass die Astronomen Mamun's die Arbeit sich ausserordentlich leicht machten und einfach nur die geläufigen Angaben des Alterthums in arabische Meilen übersetzten.

[1]) O. Peschel, l. c. S. 47 f.

[2]) 1 arabische Meile = 4000 schwarze Ellen à 540,7 Millimeter.

Ebenso suspect ist die Messung des französischen Arztes Jean Fernelius (1497—1558), welcher den Abstand zwischen Paris und Amiens auf der Fahrstrasse aus der Zahl der Radumdrehungen eines Postwagens, die Breitenunterschiede beider Orte aber durch Sonnenhöhen berechnete. Er erhielt hierbei für einen Grad des grössten Kreises einen Längenwerth von 68 096 geometrischen Schritten zu 5 Fuss (pieds du Roi) oder 56 747 Toisen (110 602 Meter)[1]. Da der Astronom Picard auf demselben Bogen später 57 060 Toisen fand, so würde sich Fernelius der Wahrheit bis auf 0,006 genähert haben. Doch bestimmte Fernelius die Breite von Paris auf 48° 38′, also um

Fig. 18.



Snellius' Triangulation zwischen Leyden und Soeterwouda (Facsimile). *te* ist die erste gemessene Grundlinie, aus welcher die Dreieckseiten *tc*, *ec* sowie *ta* und *ea* berechnet wurden, durch die sich wieder die Grösse von *ca* ergab, welche, wiederholt ausgemessen, als Grundlinie der beiden Dreiecke diente, deren Spitzen die Thürme der nächsten Orte berührten.

12 Minuten zu südlich. Welches Vertrauen können uns also seine Sonnenhöhen einflössen? Das Urtheil des Snellius, dass Fernelius nur das Ergebniss der arabischen Gradmessung willkürlich in geometrische Schritte umgewandelt, seine Zeitgenossen aber durch Blendwerk getäuscht habe, ist daher nur allzu begründet[2]).

Der Ruhm, die Grösse der Erde durch ein im Princip richtiges und für jene Zeit tadelfreies Verfahren zuerst ermittelt zu haben, gebührt dem Holländer Willebrord Snellius (1597—1626). Er mass im Jahre 1615 den Erdbogen zwischen Bergen op Zoom und Alkmaar durch eine Kette von Dreiecken (s. Fig. 18). Sobald man die Länge der Seite eines Dreiecks und die Grösse der beiden anliegenden Winkel kennt, lassen sich durch eine einfache Rechnung die unbekannten Längen der beiden anderen Seiten feststellen. Benützt man eine dieser berechneten Seiten als Grundlage eines neuen Dreiecks, so ergeben sich, wenn die Winkel

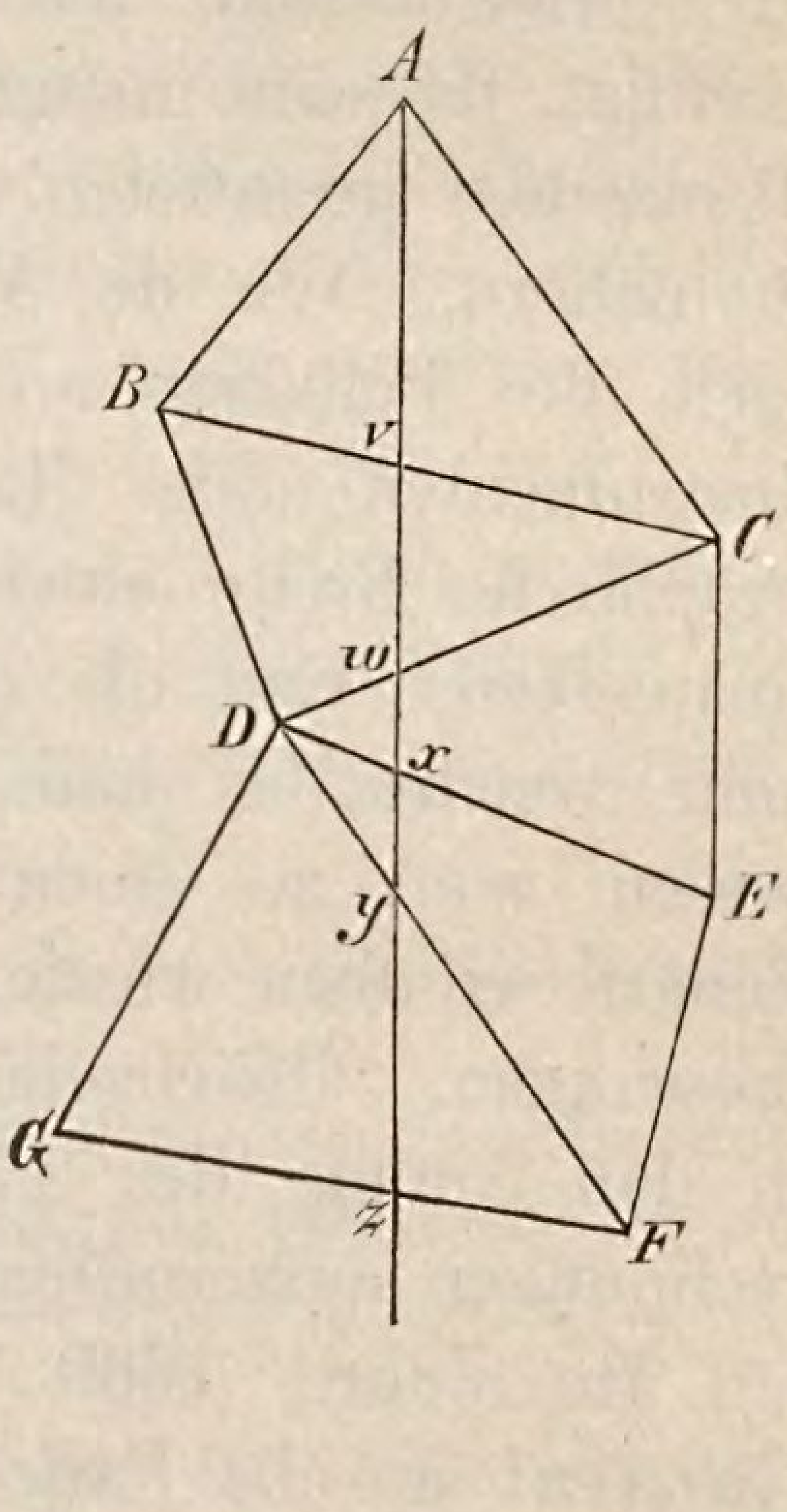
[1]) Johannis Fernelii Ambiantis Cosmotheoria. Parisiis 1528, Schol. cap. I, fol. 3 sq.

[2]) O. Peschel, l. c. S. 394, Nota 3.

gemessen sind, abermals die unbekannten Längen der beiden anderen Seiten des neuen Dreiecks auf arithmetischem Wege. Als Spitzen seiner Dreiecke erwählt der Erdmesser gewöhnlich die Thürme der nächsten Ortschaften oder andere befestigte und günstig gelegene Gegenstände. Gleichgiltig ist es dabei, ob die Kette der Dreiecke sich genau durch einen Mittagskreis bewegt oder nicht, da innerhalb einer Kette von Dreiecken, wo die Grösse aller Seiten und aller Winkel bekannt ist, auch die des Meridianbogens durch Berechnung sich ermitteln lässt.

Wollte man z. B. von *A* aus die Länge eines Meridians messen, welcher zwischen den durch Kirchthürme oder andere hohe Gegenstände ausgezeichneten Orten *B, D, G* und *C, E, F* (Fig. 19) hindurchführt, so würde man etwa in folgender Weise verfahren: Man denkt sich zunächst die genannten Punkte durch Gerade verbunden, wodurch man ein Netz von Dreiecken erhält. Man misst nun die Standlinie *AB* und die an ihr anliegenden Winkel des Dreiecks *ABC*, ferner auch die Winkel, welche die zum Meridian gehörige Linie *Av* mit *AB* und *AC* bildet, und so lassen sich alle Seiten und Winkel der Dreiecke *ABv* und *ACv* trigonometrisch berechnen. Durch weitere Winkelmessungen und Berechnungen wird in der nämlichen Weise auch die Grösse der Meridianstücke *vw*, *wx*, *xy* und *yz* festgestellt. Es leuchtet ein, dass es gleichgiltig ist, welche Linie man als Basis benützt, wenn sie nur sonst auf hierzu günstigem, d. h. ebenem Terrain liegt.

Fig. 19.



Snellius hat die Standlinie *te* (87 rhein. Ruthen 5 Zoll oder 327,8 Meter) und als Controlbasis *ac* (326,4 rhein. Ruthen oder 1229,2 Meter) gemessen (s. Fig. 18), also nur sehr kleine Linien; auch war das Werkzeug zum Ablesen der Winkel ($2^1/_5$ Fuss rhein. oder 0,7 Meter im Radius) noch nicht mit einem Fernrohre versehen. Dennoch befriedigen uns die gefundenen Entfernungen zwischen den Endpunkten der trigonometrischen Kette durch ihre Genauigkeit. Im Jahre 1617 veröffentlichte er das Ergebniss seiner Arbeiten [1]), wornach einem Erdgrade

[1]) Eratosthenes Batavus, De Terrae ambitus vera quantitate. Lugd. Batav. 1617.

auf dem Bogen zwischen Alkmaar (52° 40½′ nördl. Breite) und Bergen op Zoom (51° 29′ n. Br.) 28 500 rhein. Ruthen (107 338 Meter) zukommen sollten. Es hat sich später gezeigt, dass jene 28 500 Ruthen 55 100 Toisen entsprochen haben würden und Snellius' Messung um 2000 Toisen (3900 Meter) oder $^2/_{57}$ zu kurz ausfiel. Der Fehler entsprang grösstentheils aus der ungenauen Bestimmung der Polhöhe von Alkmaar [1]), die wir dem wackeren Manne um so mehr nachsehen müssen, als auf dem Messingbogen seines Quadranten nur Winkel von 3 Bogenminuten abgetheilt waren, kleinere Grössen daher zwischen den Theilungsstrichen vom Auge geschätzt werden mussten [2]). Bedeutungsvoll ist Snellius' Gradmessung insbesondere in methodischer Beziehung gewesen; sein Verfahren, das der Triangulation, ist zwar nach verschiedenen Hinsichten verschärft, in seinen Grundzügen aber bis auf den heutigen Tag beibehalten worden.

Snellius berechnete seine Dreiecke, als ob sie in einer Ebene und nicht auf einer gekrümmten Kugelfläche gelegen gewesen wären. Er vernachlässigte also den sphärischen Excess, und er war dazu berechtigt, da seine mangelhaften Instrumente noch bei weitem nicht dem Beobachter gestatteten, sich der Wahrheit bis auf sehr geringe Grössen zu nähern. Wie die Winkel seiner Dreiecke so bestimmte er nämlich auch die Polhöhen an den Endpunkten der Dreiecke mit optischen Instrumenten ohne Linsengläser. Noch vermochte man die geographische Breite eines Ortes kaum bis auf eine Bogenminute genau anzugeben. Erst als durch Erfindung des Fadenkreuzes [3]) das Fernrohr, welches bis dahin nur ein Raum durchdringendes Instrument gewesen war, zu einem Werkzeug der Winkelmessung von höchster Schärfe erhoben wurde, begann ein neuer Abschnitt auch für die Erdmessungen. Gleichzeitig kam die Erfindung der Logarithmen (sie fällt in den Anfang des 17. Jahrhunderts) den hiermit verbundenen Berechnungen ausserordentlich zu statten.

Im Jahre 1669 berief Ludwig XIV. Jean Dominique Cassini an die Pariser Sternwarte. Um den König — so erzählt Delambre in seiner Geschichte der Astronomie — durch etwas zu erfreuen, was ihm mehr Unterhaltung bieten konnte als die trocknen Arbeiten der Sternwarte, beschloss man, die Grösse der Erde zu messen. Man übertrug die Ausführung der Messarbeiten dem berühmten Picard (1620—1682). Derselbe mass in den Jahren 1669

[1]) Sie sollte lauten: 52° 38′ 2″ statt 52° 40½′.

[2]) O. Peschel, l. c. S. 396 f.

[3]) Der Erfinder desselben ist William Gascoigne, geb. 1621, gefallen 1644 in der Schlacht bei Marston-Moor.

und 1670 einen Erdbogen von 1° 21′ 57″ zwischen Malvoisine und Amiens. Er beobachtete hierbei das nämliche Verfahren wie Snellius, nur dass er die Polhöhen an den Endpunkten des Bogens durch das Fernrohr bestimmte und statt einer Grundlinie von 87 Ruthen eine solche von 5663 Toisen (1 Toise = 1,949 Meter) mass. Auch er ermittelte am Schluss noch auf geodätischem Wege die Länge einer Linie am Enddreieck, um zu sehen, ob in der Winkelmessung der Dreiecksberechnung kein Fehler vorgekommen war. Als Ergebniss erhielt Picard für die Grösse eines Erdgrades 57 060 Toisen (= 111 212 Meter) [1]).

Von allen älteren Messungen hat sich die Picard'sche der Wahrheit mit wunderbarer Genauigkeit genähert, weil durch einen seltenen Zufall die astronomischen Irrthümer die geodätischen Ungenauigkeiten ausglichen [2]). Gerade deshalb ist sie für die Geschichte der menschlichen Erkenntnisse von unabsehbarer Wirkung gewesen; denn bereits war Newton (1642—1726) auf der Spur seines wichtigen Gravitationsgesetzes, welches er aus den Wirkungen der gegenseitigen Anziehung der Erde und des Mondes abzuleiten versuchte. Der mathematische Beweis wäre ihm nie gelungen, wenn er nicht die Grösse der Erde gekannt hätte. Die Messung des Snellius enthielt nämlich noch so grosse Fehler, dass sich jenes Gesetz nicht bestätigte und Newton seine Nachforschungen wieder bei Seite gelegt hatte. Er nahm sie erst wieder auf, als ihm die Picard'sche Erdbogengrösse bekannt wurde, und er gerieth, als ihm eine erste Berechnung die Richtigkeit seines Gesetzes zeigte, in eine solche nervöse Aufregung,

[1]) De la Hire, Traité du Nivellement par M. Picard. Paris 1684. p. 181. 196.

[2]) Zu Picard's Zeiten kannte man weder die Aberration des Lichtes, noch die Nutation der Erdaxe; ferner wurde das Vorrücken der Nachtgleichen und bei den Sternen in der Nähe des Zeniths die Wirkung der Strahlenbrechung als zu geringfügig vernachlässigt. Im Jahre 1739 wurde die Picard'sche Grundlinie von Cassini de Thury und Lacaille abermals gemessen und ihre Länge statt 5663 Toisen nur 5657 Toisen 2 Fuss 8 Zoll gefunden, so dass der Erdbogen zwischen Dünkirchen und Collioure um 820 Toisen gekürzt werden musste. Gleichzeitig aber ergab sich, dass die Polhöhe von Dünkirchen um 19″ zu nördlich und die von Collioure um 33″ zu südlich angenommen worden war, so dass die Summe der beiden astronomischen Fehler (52″) fast genau 820 Toisen auf dem ganzen Bogen entsprach, der mittlere Längenwerth eines Erdgrades also in Frankreich unverändert blieb, wie ihn Picard gefunden hatte (Cassini de Thury, la Méridienne de l'Observatoire de Paris. Supplement zu Histoire et Mémoires de l'Académie des Sciences. Année 1740. Paris 1745. p. 37. 291). Eine abermalige Messung vom Jahre 1756 bestätigte das Ergebniss von 1739. O. Peschel, l. c. S. 658, Nota 1.

dass er nicht im Stande war, seine Berechnung zu wiederholen, sondern zu dieser Aufgabe Freundeshilfe anrufen musste [1]).

Kannte man damals die Grösse der Erde bereits mit befriedigender Genauigkeit, so war man doch immer noch in dem alten Irrthum befangen, die Erde sei eine vollkommene Kugel. Erst in der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts wurden Zweifel an der reinen Kugelgestalt der Erde laut; theoretische Gründe wie gewisse Wahrnehmungen an Uhren schienen auf ansehnliche Abweichungen hinzuweisen. Picard machte insbesondere darauf aufmerksam, dass, wie aus mehreren Beobachtungen hervorgehe, ein Secundenpendel verkürzt werden müsse, wenn man es dem Aequator näher bringe. Zur Feststellung dieser Thatsache, sowie zur Ausführung anderer astronomischer Arbeiten wurde Jean Richer am 8. Februar 1672 von der Pariser Akademie nach Cayenne geschickt, wo er am 27. April ankam und Ende Mai 1673 seine Aufgaben beendete. Während seines Aufenthalts daselbst fand er, dass seine Uhr täglich um $2^1/_2$ Minuten zurückblieb und das Pariser Secundenpendel dort um $1^1/_4$ Par. Linien oder um $^{125}/_{4460}$ seiner Gesammtlänge zu gross sei, was Newton nach Richer's Rückkehr sofort als eine nothwendige Folge der Gestalt und Rotation der Erde erkannte. Die Gestalt der Erde ist hierbei insofern im Spiel, als (wegen der Abplattung der Erde an den Polen) die äquatorialen Theile vom Erdmittelpunkte weiter entfernt sind als die polaren und nach Newton's Gravitationsgesetz die Schwere mit dem Quadrat des Abstandes vom Anziehungsmittelpunkte abnimmt, die Rotation der Erde aber insofern, als die der Schwere entgegenwirkende Fliehkraft von den Polen nach dem Aequator zunimmt, da die Fliehkraft eines Punktes an der Erdoberfläche nach dem Quadrat des Cosinus der geographischen Breite variirt.

Neben Newton vertheidigte auch Huyghens (1629—1695) die Abplattung der Erde an den Polen. Die beiden grossen Physiker und Mathematiker wiesen namentlich darauf hin, dass, wenn die Erde einmal flüssig oder doch nur eine plastische Masse gewesen sei, sie nach den Gesetzen der Fliehkraft die von ihnen angenommene abgeplattete Gestalt erhalten haben müsse. Huyghens, der alle Anziehungskraft in den Mittelpunkt der Erde verlegte, was der Annahme eines unendlich dichten Erdkernes gleichkommt, fand für die Abplattung nur einen Werth von $^1/_{578}$ [2]). Newton hingegen, welcher von der Voraussetzung ausging, dass die Erde in allen ihren Schichten gleiche Dichtig-

[1]) C. M. Bauernfeind, Die Bedeutung moderner Gradmessungen. München 1866. S. 16 ff.

[2]) Dieser Bruch sagt uns, dass, wenn man $^1/_{578}$ vom Aequatorialhalbmesser *(a)* an die halbe Polaraxe *(b)* der Erde setzt, diese ebenso gross wie

keit besitze, berechnete einen Abplattungseffect von $^1/_{230}$ [1]). Huyghens' wie Newton's Annahmen haben sich nicht bestätigt; sie führten daher zu extremen Resultaten. Die später wirklich gefundene Abplattung liegt innerhalb der beiden theoretisch geforderten Grenzwerthe.

Da sich Richer's Beobachtungen in Cayenne auch anderwärts bestätigten, so zweifelte in der Folge niemand mehr daran, dass die Anziehungskraft der Erde, gemessen an der Geschwindigkeit schwingender Pendel, von den Polen nach dem Aequator abnehme. Doch trug man Bedenken, hieraus die Folgerung abzuleiten, dass die Erde an den Polen abgeplattet sei. Im Gegentheil behauptete ein Theil der Gelehrten, namentlich die beiden Astronomen Cassini in Paris, dass man sich die Erde in der Richtung der Drehungsaxe verlängert denken müsse, dass sie also hinsichtlich ihrer Gestalt nicht einer Orange, sondern einem Ei gleiche.

Wurde durch die Fehlercompensationen der Picard'schen Messung der Wahrheit zum Siege verholfen, so sollte bei Fortsetzung der Picard'schen Arbeit durch einseitige Aufhäufung von Fehlern die Aufdeckung eines grossen Irrthums verzögert werden. Die Messkunst der damaligen Zeit besass eben noch nicht die Schärfe, um die Abplattung der Erde bestätigen zu können, die bereits das Pendel angezeigt hatte. In der Zeit von 1680 bis 1718 wurde die Kette der Dreiecke von den Cassini mit Hilfe der Maraldi und de Lahire bis nach Dünkirchen an den Canal la Manche und bis Collioure bei den Pyrenäen an das Mittelmeer verlängert. Man fand als letztes Ergebniss, dass auf dem südlichen Stück von Paris nach Collioure die Meridiangrade (57 097 Toisen) merklich grösser waren als die auf dem nördlichen Stück von Paris bis Dünkirchen (56 960 Toisen), so dass also die Erde nicht einem abgeplatteten, sondern einem eiförmigen Körper hätte gleichen sollen [2]).

So harrte die brennende Streitfrage, ob die Erdgestalt sich mehr mit der Form einer Pomeranze oder einer Citrone vergleichen lasse, noch immer ihrer Lösung, und man schien diesmal weiter als sonst von derselben entfernt zu sein. Wiederum sollte durch königliche Unterstützung und unter Leitung der Pariser Akademie das Problem gelöst werden.

der Aequatorialhalbmesser wird; in Buchstaben ausgedrückt ist also der Abplattungswerth $= \frac{a-b}{a}$.

[1]) Is. Newton, Philosophiae natur. Principia mathematica. lib. III, p. 423 sq.

[2]) Livre de la Grandeur de la Terre. Suite des Mémoires de l'Académie des Sciences. Paris 1720. p. 237.

Jene Widersprüche konnten nur erledigt werden, wenn man zwei gemessene Meridianbogen verglich, bei denen die Wirkung der Abplattung oder der Axenverlängerung sehr fühlbar sein musste, nämlich unter dem Aequator und am Polarkreis. Ist die Erde an den Polen abgeplattet, so müssen die Bogengrade der Mittagskreise vom Aequator nach den Polen wachsen; ist die Kugel aber eiförmig in die Länge gezogen, so müssen die Bogengrade vom Aequator nach höheren Breiten an Grösse abnehmen. Zur Entscheidung der Frage sandte man eine Anzahl französischer Astronomen nach Lappland und eine andere Abtheilung nach Peru, um in beiden Ländern die Grösse der Breitenabstände genau ermitteln zu lassen.

Die nördlichen Erdmesser Maupertuis, Clairaut, Camus, Lemonnier, denen sich auf Wunsch des Königs Celsius, der Astronom Upsala's, anschloss, begannen ihre Arbeiten bei Torneå am 6. Juli 1736 und führten ihre Dreiecke 0° 57′ 28,5″ gegen Norden bis nach dem Kittis. Im nächsten Winter massen sie eine Grundlinie von 7406 Toisen 5 Fuss (14 436 Meter) auf der Eisdecke des gefrorenen Torneåflusses und beendigten ihre Arbeiten allzurasch bereits im Frühjahr 1737. Am 13. November des nämlichen Jahres konnte Maupertuis der Pariser Akademie verkündigen, dass der Grad eines Meridians am Polarkreis eine Länge von 57 438 Toisen (111 949 Meter) habe, mithin 378 Toisen (737 Meter) grösser sei als in Frankreich nach der Picard'schen Messung, dass also nach diesen Ergebnissen die Abplattung der Erde an den Polen als erwiesen gelten müsse [1]).

Die peruanischen Erdmesser waren Bouguer, Lacondamine und Godin, denen sich von spanischer Seite zwei Officiere, Don Antonio de Ulloa und Don Jorge Juan anschlossen. Am 16. Mai 1735 verliessen sie Europa und kamen am 13. Juni in Quito, ihrem Hauptquartiere an. Das unebene Hochland war für sie ein ausserordentlich ungünstiges Arbeitsfeld. In der Nähe von Quito wurde die erste Grundlinie (6272 Toisen = 12 224 Meter) vom 3. October bis 3. November, drei Jahre später am Südpunkte der Dreieckskette auf der Ebene von Tarqui, südlich von Cuenca (August 1739) die Prüfungslinie (Verificationsbasis von 5259 Toisen = 10 250 Meter) gemessen, deren Grösse Bouguer auf 1 bis $1\frac{1}{3}$ Meter, Lacondamine bis auf 2 Meter übereinstimmend mit der trigonometrischen Berechnung fand. Die Dreieckskette war auf der nördlichen Erdhälfte

[1]) Maupertuis, Figure de la Terre. Amsterdam 1738. p. 64. 80. Nach der in den Jahren 1801 bis 1803 von Svanberg in der Nähe von Torneå ausgeführten Messung hat ein Meridiangrad am Polarkreis nur eine Länge von 57 196 Toisen (111 477 Meter). O. Peschel, l. c. S. 662.

wenige Minuten diesseits des Aequators befestigt worden und erstreckte sich, links und rechts auf Höhenpunkte der Cordilleren gestützt, in einer Gesammtlänge von 3° 7′ 1″ gegen Süden; sie liegt also ganz innerhalb des heutigen Ecuador. Als letztes Ergebniss erhielt Lacondamine für den Längenwerth eines Grades am Mittagskreise in Peru 56750 Toisen (110608 Meter)[1]. Somit beträgt nach den angeführten Messungen die Länge eines Meridiangrades

in Peru 56750 Toisen (110608 Meter)
in Frankreich (n. Picard's Messungen) 57060 Toisen (111212 Meter)
in Lappland 57438 Toisen (111949 Meter).

Diese Zahlen beweisen evident die Abplattung der Erde an den Polen, obwohl sie, wie aus dem Folgenden hervorgeht, an Genauigkeit noch viel zu wünschen übrig lassen. Verglich man den lappländischen Meridianbogen mit dem peruanischen, so ergab sich eine Abplattung von $^1/_{169}$; verglich man hingegen den französischen Erdbogen mit dem peruanischen, so erhielt man eine Abplattung von nur $^1/_{303,6}$. So war man also noch immer weit entfernt von übereinstimmenden Werthen. Ganz correcte Resultate durfte man übrigens von den damaligen Unternehmungen gar nicht erwarten. Wir erinnern hier daran, dass die Gradmessung in Peru nur etwa die Genauigkeit der neuen Schwarzburg-Sondershausen'schen Kataster-Vermessungen besitzt, — bei Katasteraufnahmen aber kann bekanntlich von der höchsten Genauigkeit abgesehen werden — d. h. eine Genauigkeit von $^1/_{5000}$ der Entfernungen, während jetzt von den Gradmessungsdreiecken $^1/_{100\,000}$ gefordert wird[2]. Somit ist die Genauigkeit seit der französischen Expedition nach Peru, also seit etwa 150 Jahren, um das Zwanzigfache gesteigert worden. Hieraus erklärt sich, dass der peruanische und der lappländische Bogen zur Zeit kaum mehr als einen historischen Werth für uns besitzen; insbesondere wird der letztere bei Berechnung der Erdabplattung nicht mehr zu Rathe gezogen.

Fortan war es eine Hauptaufgabe der Erdmessung, den Betrag der Abplattung genau zu bestimmen. Man rief zunächst hierzu dasjenige Instrument zu Hilfe, das zuerst die Abirrung des Erdkörpers von der Kugelgestalt verrathen hatte: das Pendel.

Obwohl die Pendelmessungen nur zur Bestimmung der Gestalt, nicht aber der Grösse der Erde brauchbar sind, müssen wir sie den-

[1]) Lacondamine in den Mémoires de l'Académie des Sciences. Paris 1751. p. 678 sq. Vgl. O. Peschel, l. c. S. 541 ff.

[2]) J. J. Baeyer in Behm's Geographischem Jahrbuch. Bd. III (1870), S. 157.

noch als ein ausserordentlich wichtiges Hilfsmittel neben den Gradmessungen betrachten, als einen „Fühlhebel", den wir der Erde auch da anlegen können, wo — wie auf entlegenen Inseln im Ocean — geodätische Messungen unmöglich sind [1].

Das Pendel ist ein Apparat, welcher uns genauen Aufschluss giebt über die Intensität der Schwere an verschiedenen Punkten der Erdoberfläche. Ein bekanntes physikalisches Gesetz lehrt uns, dass, wenn ein und dasselbe Pendel an verschiedenen Stationen oder unter dem Einflusse verschiedener Kräfte schwingt, sich die Zahl der Schwingungen in gleichen Zeiträumen nicht gleichbleibt und dass sich die Intensitäten der Kräfte zu einander verhalten wie die Quadratzahlen der Schwingungen in gleichen Zeiten. So wird z. B. gefunden, dass ein Pendel von einer gewissen Länge, welches am Aequator an einem Tage (mittlere Sonnenzeit) 86400 Schwingungen macht (also ein Secundenpendel für die äquatorialen Gebiete), in London in derselben Zeit 86535 Oscillationen vollendet. Demnach verhält sich die Intensität der Schwerkraft am Aequator zu derjenigen in London wie $86400^2 : 86535^2$ oder wie 1 : 1,00315, d. h. 100000 Pfunde üben in London denselben Druck auf ihre Unterlage aus wie 100315 gleich gewichtige Londoner Pfunde am Aequator [2]. Man könnte ebenso gut die Intensität der Schwere messen, indem man ein Pendel beim Uebergang nach einer neuen Beobachtungsstation so lange verkürzt oder verlängert, bis seine Schwingungen genau den Zeitraum einer Secunde ausfüllen. Die Werthe der Schwerkraft verhalten sich dann gerade so wie die Längen der Pendel. Indessen ist die letztere Methode weniger bequem und wird daher auch seltener in Anwendung gebracht.

Schon seit Richer's denkwürdiger Reise nach Cayenne im Jahre 1672 war es erwiesen, dass die Schwerkraft nach dem Aequator zu eine Verminderung erleidet. Dieser Abnahme aber kann, wie bereits oben angedeutet wurde, eine doppelte Ursache zu Grunde liegen. Sie kann einmal durch die Abplattung der Erde hervorgerufen werden, da die Schwere mit dem Quadrat des Abstandes vom Anziehungsmittelpunkte abnimmt, somit an den vom Erdmittelpunkte weiter entfernten äquatorialen Theilen sich weniger wirksam erweist als an den diesem näher liegenden polaren Theilen. Zweitens aber kann und muss sie eine Folge der durch die Rotation allen Punkten der Erdoberfläche mitgetheilten Fliehkraft sein. Da ein Punkt des Aequators in derselben Zeit eine Umdrehung erleidet wie ein dem Pole näher liegender, also einen

[1]) J. B. Listing, Gestalt und Grösse der Erde. Göttingen 1872. S. 10 f.

[2]) Sir John F. W. Herschel, Outlines of Astronomy. New edition. London 1875. §. 235, p. 148.

weiteren Weg in derselben Zeit zurücklegt, so muss seine Geschwindigkeit und somit auch seine Fliehkraft eine grössere sein. Die Fliehkraft irgend eines Punktes entspricht aber, wie Clairaut nachgewiesen hat, stets dem Quadrat des Cosinus der geographischen Breite; sie ist also am Aequator am grössten und an den Polen gleich Null. Da nun die Fliehkraft der Schwere entgegenwirkt, so wird die letztere am Aequator eine bedeutendere Verminderung erfahren als nach den Polen zu, an diesen selbst aber gar keine.

Nun ist es wichtig, das Verhältniss zwischen Fliehkraft und Schwere am Aequator zu kennen. Die Physik lehrt, dass die beschleunigende Wirkung der Fliehkraft direct proportional ist dem Quadrat der Geschwindigkeit und umgekehrt proportional dem Halbmesser der Bahn, welche ein Körper beschreibt. Bei der kreisförmigen Bahn, die ein Punkt am Aequator zurücklegt, ist also, wenn r den Erdhalbmesser (= 6 377 377 Meter), T die Umdrehungszeit (ein Sterntag, d. h. die Zeit zwischen zwei auf einander folgenden Culminationen eines Fixsternes, = 86 164 Secunden) bezeichnet, die Grösse der Fliehkraft

$$f = \frac{v^2}{r} = \frac{(2\pi r)^2}{T^2 r} = \frac{4\pi^2 r}{T^2} = 0{,}0339 \text{ Meter.}$$

Da die Fliehkraft am Aequator der Schwerkraft direct entgegenwirkt, so muss die Beschleunigung der Schwere am Aequator 0,0339 Meter kleiner sein als an den Polen. Die Beschleunigung der Schwere am Aequator (g) ist aber 9,7807 Meter; somit verhält sich die Fliehkraft zur Schwere oder

$$f : g = 0{,}0339 : 9{,}7807 = 0{,}0035 : 1 \text{ oder } 1 : 288{,}5.$$

Clairaut hat nachgewiesen, welches Verhältniss zwischen der Zunahme der Schwerkraft vom Aequator zum Pol und der Grösse der Abplattung besteht. Dieses Clairaut'sche Theorem lautet: Wie auch die Massen im Innern der Erde vertheilt sein mögen, so ist doch die Summe der Abplattung und des Verhältnisses zwischen Zunahme der Schwere vom Aequator bis zum Pol und der äquatorialen Schwere gleich dem Verhältniss der Fliehkraft am Aequator zur Schwere daselbst multiplicirt mit $2^1/_2$. Bezeichnen wir mit α die Abplattung, mit β das Verhältniss zwischen Zunahme der Schwere vom Aequator bis zum Pol und der Schwere am Aequator und mit γ das Verhältniss der Fliehkraft am Aequator zur Schwere daselbst, so stellt sich dieses für die Theorie der Gestalt der Planeten fundamentale Theorem in Zeichen einfach so dar:

$$\alpha + \beta = \frac{5}{2}\gamma.$$

Hieraus ergiebt sich, dass das Abplattungsverhältniss

$$\alpha = \frac{5}{2}\gamma - \beta$$

Für das Verhältniss zwischen Fliehkraft am Aequator und Schwere daselbst (γ) haben wir oben bereits den Werth 0,0035 oder $^1/_{288.5}$ ermittelt. Wir bedürfen demnach zur Berechnung des Abplattungswerthes nur die Feststellung der Intensität der Schwere am Aequator und am Pole oder besser das Gesetz der Schwerezunahme nach dem Pol. Die Schwerkraft an verschiedenen Stellen der Erdoberfläche lässt sich aber leicht mit Hilfe des Pendels messen; denn die Intensitäten der Schwerkraft verhalten sich zu einander wie die Quadratzahlen der Schwingungen eines und desselben Pendels während eines Sterntages oder wie die Längen der Secundenpendel (vgl. S. 154).

Die ausgedehnteste Reihe werthvoller Pendelbeobachtungen verdanken wir dem Engländer Edward Sabine[1]). Unterstützt von der englischen Regierung, die ihm zu diesem Zwecke ein Kriegsschiff zur Verfügung gestellt hatte, trug er im Jahre 1822 das Greenwicher Pendel bis in die äquatorialen Gebiete und im folgenden Jahre nach dem hohen Norden (Spitzbergen). Er stellte Beobachtungen an bei Sierra Leone, auf San Thomé, auf Ascension, in Bahia, in Maranham (Brasilien), in Port of Spain (Trinidad), auf Jamaica, in New-York, ferner (im Jahre 1823) bei Hammerfest, in Fair Haven (Nordspitzbergen), Grönland und Throndhjem, zusammen also (incl. der Beobachtungen in London) an 13 Punkten verschiedener Breite, vom Aequator bis zum 80. Breitengrade. Es ergaben sich hierbei für die Länge des Secundenpendels beispielsweise folgende Werthe[2]):

Ort.	Breite.	Länge des Secundenpendels in engl. Zollen.
San Thomé	0° 24′ 41″ n. Br.	39,012
Ascension	7° 55′ 48″ s. Br.	39,024
Jamaica	17° 56′ 7″ n. Br.	39,035
New-York	40° 42′ 43″ n. Br.	39,101
London	51° 31′ 8″ n. Br.	39,139
Throndhjem	63° 25′ 54″ n. Br.	39,174
Spitzbergen	79° 49′ 58″ n. Br.	39,215

Ausser E. Sabine haben Biot, Arago, Mathieu, Capt. Henry Kater, Louis de Freycinet, Foster, Capt. Duperrey,

[1]) Edward Sabine, An Account of Experiments to determine the Figure of the Earth. London 1825.

[2]) Joh. Müller, Kosmische Physik. 4. Aufl. Braunschweig 1875. S. 68.

Capt. Lütke u. a. an zahlreichen Orten sorgfältige Pendelbeobachtungen angestellt.

Neuerdings hat J. B. Listing alle bisherigen Beobachtungen und Berechnungen einer sorgfältigen Discussion unterworfen und ist hierbei zu folgenden, der Wahrheit jedenfalls sehr nahe kommenden Mittelwerthen gelangt [1]):

Als Gesetz für die Abnahme der Schwere mit der geographischen Breite ergiebt sich die Gleichung $g_\varphi = 9{,}780\,728 + 0{,}050\,875 \,.\, sin\, \varphi^2$, wenn g_φ die Schwere unter der Breite φ bezeichnet. Die Abnahme erfolgt also rascher, als wenn die Fliehkraft allein dabei im Spiele wäre. Reducirt auf das Niveau des Meeres ergeben sich für 0, 45 und 90^0 folgende Werthe für die Länge des Secundenpendels und die Acceleration der Schwere:

Geogr. Breite.	Länge des Secundenpendels.	Acceleration der Schwere.
0	990,9948 Millimeter	9,780 728 Meter
45	993,5721 „	9,806 165 „
90	996,1495 „	9,831 603 „

Nun besitzen wir alle Werthe, um die Abplattung der Erde zu berechnen; denn in die obige Formel

$$\alpha = \frac{5}{2} \gamma - \beta$$

setzen wir nun (nach Listing) für γ den Werth 0,003 467 199 und für β (das Verhältniss der Zunahme der Schwere vom Aequator bis zum Pol zu der Schwere am Aequator)

$$\frac{9{,}831\,603 - 9{,}780\,728}{9{,}780\,728} = \frac{0{,}050\,875}{9{,}780\,728} = 0{,}005\,201\,555$$

Demnach ist

$$\alpha = 2{,}5 \cdot 0{,}003\,467\,199 - 0{,}005\,201\,555$$

$$= 0{,}003\,466\,445 \text{ oder } \frac{1}{288{,}4800}.$$

Diese Zahl stimmt mit dem von Sabine gefundenen Abplattungswerth von $^1/_{288{,}4}$ nahezu überein.

Vergleicht man die durch Rechnung ermittelten Längen des Secundenpendels mit den wirklich beobachteten, so stellen sich oft nicht geringe Differenzen heraus. Mögen dieselben auch zum Theil den jeder Messung anhaftenden Beobachtungsfehlern zuzuschreiben sein, so sind sie doch zu ansehnlich, als dass diese allein die Ursache davon sein könnten; denn die Länge des Secundenpendels lässt

[1]) J. B. Listing, Neue geometrische und dynamische Constanten des Erdkörpers in den Nachrichten von der Kgl. Gesellschaft d. W. zu Göttingen. 1877. S. 797 f.

sich jetzt mit einer Genauigkeit von $^1/_{76\,800}$ bestimmen, während die thatsächliche Abweichung oft über fünfmal so gross ist[1]). Es ist vielmehr erwiesen, dass besondere geognostische Verhältnisse in einzelnen Fällen ansehnliche locale Abweichungen in der Intensität der Schwere hervorrufen, so dass — wie A. v. Humboldt sagt — das Pendel als eine Art geognostisches Senkblei betrachtet werden kann, welches sich in tiefe, ungesehene Erdschichten werfen lässt[2]). Vor allem aber sind jene Differenzen eine Folge gewisser Unregelmässigkeiten, welche die oceanischen Flächen darbieten. Die Meeresoberfläche besitzt nämlich — was Ph. Fischer zuerst ausführlich dargestellt und klar erwiesen hat[3]) — nicht die Gestalt eines reinen Rotations-Ellipsoids, wie wir sie uns vorzustellen gewohnt sind; es werden vielmehr die oceanischen Wasser durch die Attraction der 2,5 mal so dichten Massen der Erdfesten, welche im Mittel gegen 4000 Meter über den Meeresgrund aufragen, an den Rändern der Continente emporgehoben und zwar in geringerem oder stärkerem Masse je nach der Grösse der Festlande und der Dichtigkeit der Gesteine, durch welche sie gebildet werden. Man hat mit grosser Uebereinstimmung wahrgenommen, dass auf den Festlandspunkten die kleineren, auf den Inseln die grösseren Beträge der Schwerkraft sich ergeben und die Ausnahmen, die etwa vorkommen, sich sehr gut rechtfertigen lassen. Besonders auffallend ist es, dass oceanische Inseln, fern ab von den Continenten, die stärkste Vermehrung der Schwerkraft zeigen. Steigt nämlich der Meeresspiegel in Folge der Anziehung der Festlandsmassen an den Küsten über den mathematischen Meeresspiegel hinauf, so werden solche Küstenpunkte von dem Centrum der Erde weiter entfernt sein, folglich eine relative Schwächung der Schwerkraft verrathen. Mitten im Weltmeer gelegene Inseln hingegen werden in Folge ihrer geringen Masse den physischen Meeresspiegel nur schwach zu heben vermögen; folglich befindet man sich an ihren Küsten dem Erdmittelpunkte relativ näher, und die Schwerkraft ist dort beträchtlicher als an den Festlandsrändern. Es kommen somit die auf das Meeresniveau gestützten Messungen nicht auf ein regelmässiges Ellipsoid zu liegen, und daraus dürfte es sich wohl erklären, dass die Meeresfläche in der Mitte der Oceane unter das Niveau des Ellipsoids herabgedrückt erscheint (so auf den Bonin-Inseln im westlichen Pacific zwischen Neu-Guinea und Japan um 1309 Meter, bei St. Helena

[1]) J. B. Listing, l. c. S. 783.

[2]) A. v. Humboldt, Kosmos. Bd. IV, S. 29.

[3]) Ph. Fischer, Untersuchungen über die Gestalt der Erde. Darmstadt 1868.

847 Meter) [1]), während an den Rändern grosser Continente das Gegentheil wahrgenommen wird (auf Maranham, einer kleinen Küsteninsel des nordbrasilianischen Litorals, zeigt das Meer eine Erhebung von 567 Meter über das Rotationsellipsoid) [2]). Beobachtungen auf Trinidad, in Para, Bahia, Rio de Janeiro, Montevideo, an der pacifischen Küste in Valparaiso (Chile) und San Blas (Mexico) deuten darauf hin, dass der Spiegel des Caraibischen Meeres, sowie der offene atlantische und grosse Ocean an den Gestaden Amerika's etwa ein halbes Kilometer über der der Erde im Ganzen zukommenden regelmässigen Sphäroidfläche emporragt. Hierin ist aber unleugbar der erhöhende Einfluss der amerikanischen Continentalmassen mit ihrem bedeutenden Andenrelief zu erkennen. Aehnliche Wirkungen übt die gewaltige Masse des asiatischen Hochlandes aus, wie die Pendelbeobachtungen in Madras lehren [3]).

Die Abplattung der Erde lässt sich ausser durch directe Messung und Pendelbeobachtungen noch auf einem dritten Wege berechnen: aus der Mondbewegung, d. h. aus den Ungleichheiten in der Länge und Breite des Mondes. Einen hohen Reiz besitzt dieses Verfahren insofern, als der Astronom hierbei, ohne seine Sternwarte zu verlassen, in den Bahnen eines Himmelskörpers die individuelle Gestalt der Erde, seines Wohnsitzes, erkennt, da jene Bahnen gewissermassen die Form unseres Planeten reflectiren.

Denken wir uns die Erde nicht als Kugel, sondern als Würfel oder Pyramide vom Monde umkreist, so würde dieser in der Gestalt seiner Bahn die Gestalt der Erde zum Ausdruck bringen, da ja die Anziehungskraft eines Würfels je nach der Position des Mondes sehr verschieden sein müsste. Laplace sagte sich nun, dass, wenn die Erde am Aequator angeschwollen, an den Polen plattgedrückt sei, der Mond in seinem Umlauf gewisse Störungen erleiden würde, denen er entginge, wenn die Erde eine reine Kugel wäre. Er stellte eine Formel auf, welche die Richtung und die Grösse dieser Abweichungen in den Mondbewegungen für verschiedene Werthe der Abplattung der Erde zu berechnen gestattet. Nun ward der Mond befragt; die Störungen wurden aufgefunden, und die Kunst der berechnenden Astronomie führte zu dem hohen Triumph, dass Laplace aus jenen Unregelmässigkeiten der Mondbewegung die Abplattung der Erde zu bestimmen vermochte. Er fand vermittelst dieser seiner Lunar-Methode eine Abplattung von $1/_{306}$: ein Resultat, welches sich den Ergebnissen

[1]) J. B. Listing, l. c. S. 803.
[2]) l. c. S. 801.
[3]) l. c. S. 802.

der geodätischen Messungen beträchtlich nähert [1]). Ist dasselbe auch minder genau als das durch geodätische Messungen und Pendelbeobachtungen erlangte, so ist es uns doch als Denkmal ausserordentlichen Scharfsinnes von ungleich höherem Werthe.

Wir sahen, dass die Gradmessungen seit Richer's Entdeckungen eine ganz neue Aufgabe erhielten: nämlich nicht bloss die Ermittelung der Grösse, sondern auch der Gestalt unseres Planeten. Der französische Nationalconvent (1792—1795) stellte noch eine andere Anforderung an sie. Könnten wir nämlich jemals genau die Grösse der Erde bestimmen, so würde, sei es ihr Umfang oder ihr Durchmesser für den bürgerlichen Verkehr uns eine Masseinheit gewähren, die so unveränderlich wäre, dass sie, hundertmal verloren, nach Tausenden und hundert Tausenden von Jahren immer genau wieder aufgefunden werden könnte. Das souveräne Volk in Frankreich ertheilte den Befehl zu einer neuen (also dritten) Messung eines Erdbogens in Frankreich; aus diesem sollte die Grösse eines Erdquadranten, d. h. eines Kreisviertels vom Aequator nach einem der Pole, berechnet, diese Länge durch 10 000 000 dividirt und der Quotient als die unerschütterliche Masseinheit unter dem Namen Meter eingeführt werden. Jene dritte Gradmessung wurde unter Borda's Leitung von Méchain und Delambre im Jahre 1792 begonnen, aber erst unter dem Kaiserreich, nämlich 1806 bis 1808 von Biot und Arago bis Iviza und Formentera fortgeführt und vollendet, so dass nun ein Meridianbogen von vollen 12° 22′ 13″ vorlag. Schon vor Beendigung dieser Gradmessung (am 22. Juni 1799) war die Länge des Meters gesetzlich auf 443,296 Par. Linien der sog. Toise von Peru in der Temperatur von 16,25 Grad der hundertheiligen Scala normirt worden.

Dieses Mass erschien damals als ein von den Dimensionen des Erdkörpers entnommenes Naturmass. In der That war man ja auch bei jener Messung mit der grössten Sorgfalt zu Werke gegangen. Während man früher mit hölzernen Messstangen oder stählernen Ketten mass, führten jetzt die Franzosen ein neues sinnreiches Werkzeug ein: nämlich zwei über einander liegende Lineale, von denen das eine aus Platin, das andere aus Kupfer bestand. Da beide Metalle von der Wärme in verschiedenen Verhältnissen ausgedehnt werden, so konnte man aus den Längenunterschieden beider jeden Augenblick die ursprüngliche Länge des Platinlineals unter dem Mikroskop mit Sicherheit bis auf $^1/_{400\,000}$ Toise bestimmen [2]). Obgleich sich nun die Schärfe der Instrumente bei der Messung der Standlinie ausserordentlich vervoll-

[1]) Laplace, Traité de Mécanique céleste, livr. VII, Introd. Oeuvres. Paris 1844. tome III, p. 200.

[2]) O. Peschel, l. c. S. 661 f.

kommnet hatte, so blieben doch mehrere kleine Irrungen nicht ausgeschlossen. Bessel's sorgfältige Prüfung hat zu dem Ergebniss geführt, dass der Erdquadrant der französischen Geodäten um 856 Meter und ihre Masseinheit um nahezu $^1/_{11}$ Millimeter zu kurz ist, mit anderen Worten, dass 10 000 856 Meter des französischen Masses erst 10 000 000 idealen Metern entsprechen würden. Die Vorzüge des metrischen Systems bestehen also einzig und allein in seiner Decimaltheilung, während seine physische Grösse etwas ebenso Willkürliches ist als irgend welches Fuss- oder Ellenmass.

Vermochten die Gradmessungen in früheren Jahrhunderten zwar die Abplattung der Erde an den Polen zu bestätigen, so gestatteten sie jedoch nicht, den Abplattungsbetrag auch nur annähernd genau zu bestimmen. Den Astronomen unseres Jahrhunderts blieb es vorbehalten, mit Hilfe schärferer Instrumente und verbesserter Methoden denselben mit grösserer Genauigkeit durch geodätisch-astronomische Arbeiten zu ermitteln. Wir führen in dem Folgenden die wichtigsten der bisher gemessenen Meridianbogen an, wobei wir insbesondere alle diejenigen weglassen, die später wegen nachgewiesener beträchtlicher Fehler als unbrauchbar erkannt worden sind.

A. Die von Bessel zur Bestimmung der Erddimensionen benützten zehn Gradmessungen:

Endstationen.	Beobachtete Polhöhen.	Gemessene Länge des Bogens.	Beobachter.
	1) Peruanische Gradmessung.		
	° ′ ″	Toisen.	
Tarqui	— 3 4 32,068[1]		Bouguer, Condamine,
Cotchesqui	+ 0 2 31,387	176 875,50	Godin, Ulloa. 1735—1744.
	2) Erste ostindische Gradmessung.		
Trivandeporum . .	+ 11 44 52,590		Major Lambton.
Paudree	+ 13 19 49,018	89 813,01	1802—1805.
	3) Zweite ostindische Gradmessung.		
Punnae.	+ 8 9 31,132		Lambton und Everest.
Kullianpoor	+ 24 7 11,860	906 171,67	1802—1843.
	4) Französische Gradmessung[2]).		
Formentera	+ 38 39 56,11		Méchain, Delambre, Biot
Dünkirchen	+ 51 2 8,85	705 257,21	und Arago. 1792—1808.

[1]) Das Minuszeichen deutet südliche Breite an.

[2]) Der französische Meridianbogen soll bis an den Nordrand der Sahara, also um 7 Grad verlängert werden; durch diese Operation würde der französisch-englische Gradbogen eine Länge von 29 Grad erhalten, also den russisch-skandinavischen Gradbogen noch um 4 Grad übertreffen.

Endstationen.	Beobachtete Polhöhen.	Gemessene Länge des Bogens.	Beobachter.
5) Englische Gradmessung.			
	° ′ ″	Toisen.	
Dunnose	+ 50 37 7,633		Roy, Mudge.
Clifton	+ 53 27 31,130	162 075,93	1800—1802.
6) Hannover'sche Gradmessung.			
Göttingen	+ 51 31 47,85		Gauss.
Altona	+ 53 32 45,27	115 163,725	1821—1824.
7) Dänische Gradmessung.			
Lauenburg	+ 53 22 17,046		Schumacher.
Lyssabel	+ 54 54 10,352	87 436,538	1820—1823.
8) Preussische Gradmessung.			
Trunz	+ 54 13 11,466		Bessel und Baeyer.
Memel	+ 55 43 40,446	86 176,975	1831—1834.
9) Russische Gradmessung.			
Belin	+ 52 2 40,864		Struve, Tenner.
Hochland	+ 60 5 9,771	459 363,008	1816—1827.
10) Schwedische Gradmessung.			
Malörn	+ 65 31 30,265		Svanberg und Ofverbom.
Pahtawara	+ 67 8 49,830	92 777,981	1801—1803.

B. Seit Bessel's wichtiger Arbeit über die Abplattung des Erdkörpers wurden die unter 3, 5 und 9 genannten Gradbogen erweitert; ferner ist der des Caplandes von besonderem Interesse, da er der erste und grösste Bogen ist, welcher ausschliesslich der südlichen Halbkugel angehört. Wir fügen darum ergänzend hinzu:

Endstationen.	Beobachtete Polhöhen.	Gemessene Länge des Bogens.	Beobachter.
3) Zweite ostindische Gradmessung (erweitert).			
	° ′ ″	Toisen.	
Punnae	+ 8 9 31,132	1 212 866,6	Lambton, Everest.
Kaliana	+ 29 30 48,5		(Vollendet 1847.)
5) Englische Gradmessung (erweitert).			
St. Agnes	+ 49 53 33,9	624 622,6	Roy, Mudge, Colby, Kater,
Saxavord	+ 60 49 38,6		James. (Vollendet 1854.)
9) Russisch-skandinavische Gradmessung (erweitert).			
Staronekrassowka	+ 45 20 2,8	1 447 786,8	Struve, Tenner, Oberg, Melan, Selander, Woldsted, Hansteen, Lindhagen. (Vollendet 1851.)
Fuglenaes	+ 70 40 11,3		
11) Gradmessung am Cap der Guten Hoffnung.			
Cap d. G. Hoffnung	— 34 21 6,3	262 467,6	Maclear.
Nördl. Endpunkt	— 29 44 17,7		1842—1852.

Die Summa der angeführten Meridiangrade beträgt 85° 7′ (gegen 1280 geographische Meilen) und die Zahl der ihnen zugehörigen astronomisch bestimmten Punkte 51. Da 20 davon Endstationen sind (der englische Gradbogen wurde später mit dem französischen verbunden), so bleiben 31 Zwischenpunkte übrig; somit besitzen wir in jenen Breitengradmessungen 41 geodätisch ermittelte, mit astronomisch festgelegten Endpunkten versehene Gradbogen, deren durchschnittliche Grösse 2 Grad um weniges überschreitet. Leider sind dieselben sehr ungleichmässig auf die Länderräume vertheilt; denn es kommen weitaus die meisten auf Ost- und West-Europa sowie auf Ostindien, nur sehr wenige hingegen auf Südafrika, Mitteleuropa und Peru.

Die bedeutendste Arbeit über die Gestalt und Dimensionen des Erdkörpers hat noch vor Ablauf der ersten Hälfte dieses Jahrhunderts Bessel geliefert. Nachdem er die von ihm in Ostpreussen ausgeführte Gradmessung beendet hatte, unternahm er eine kritische Prüfung der älteren Messungen und entschied sich im Jahre 1837, zur Lösung seiner Aufgabe die zehn auf S. 161 f. näher bezeichneten Gradmessungen zu benützen [1].

Die Gesammtlänge der gemessenen Bogen betrug 50° 34′, die Zahl der astronomisch bestimmten Punkte 38. Er führte die Berechnung nach der Methode der kleinsten Quadrate durch, und es ergab sich schliesslich für die Abplattung der Werth $^1/_{300,7047}$. Als Puissant einige Jahre später in der Berechnung der französischen Gradmessung einen Fehler von 68 Toisen nachwies, wiederholte Bessel mit Verbesserung dieses Fehlers die ganze Rechnung [2]. Den Aequatorialhalbmesser fand er = 3272077,14 T. (6377397,16 Meter), die halbe Polaraxe = 3261139,33 T. (6356078,96 Meter), die Differenz beider = 10937,81 T. (21318,20 Meter, d. h. das $2^1/_2$fache der Gaurisankar- oder das $4^1/_2$fache der Montblanchöhe) und die Abplattung = $^1/_{299,1528}$ mit einem wahrscheinlichen Fehler des Nenners von 3,148 Einheiten, so dass die Abplattung noch schwanken kann zwischen $^1/_{302,301}$ und $^1/_{296,005}$.

Ausserordentlich auffallend ist es, dass dieses Resultat mit dem von dem berühmten Astronomen Airy im Jahre 1830 ermittelten Werthe ($^1/_{299,33}$) fast vollkommen übereinstimmt, obwohl beide Astronomen von ganz verschiedenartigen numerischen Grundlagen ausgingen und ebenso verschiedenartige Principien des Calcüls in Anwendung brachten. Man war daher berechtigt, jenen Werth als der Wahrheit

[1]) Schumacher's astronom. Nachrichten, Bd. XIV (1837). Nr. 333, S. 345 ff.

[2]) Schumacher's astronom. Nachrichten, Bd. XIX (1842). Nr. 438, S. 97 ff.

sehr nahe kommend zu betrachten. Daher werden die Bessel'schen Dimensionen des Erdsphäroids fast allgemein bei astronomischen wie geodätischen Arbeiten zu Grunde gelegt, und Encke hat Tafeln darnach berechnet, in denen die Breitengrade, die Längengrade und die Meridianbogen vom Aequator bis zum Parallelkreis des Standpunktes von 10 zu 10 Minuten in Toisen angegeben sind. Encke spricht bei Veröffentlichung der genannten Tafeln die zuversichtliche Erwartung aus: „Grosse Aenderungen wird die Bessel'sche Bestimmung wohl auf keinen Fall mehr erfahren, und Tafeln, welche auf sie gegründet sind, werden noch für lange Zeit allen Anforderungen entsprechen [1])".

Indessen ist durch neuere Berechnungen erwiesen, dass jene Uebereinstimmung nur ein Spiel des Zufalls ist und dass man der Wahrheit wohl kaum so nahe steht, als man ihr bereits vor ziemlich vierzig Jahren zu sein glaubte. Die Wandelbarkeit und Unsicherheit des für die Abplattung gefundenen Werthes, wie er unter Anwendung verschiedener Methoden und auf Grund verschiedenartiger Combinationen von Gradbogenmessungen festgestellt worden ist, tritt uns besonders deutlich entgegen, wenn wir die Resultate einer Anzahl Rechnungen zum Vergleich zusammenstellen [2]).

Zeit	Autor.	Nenner des den Abplattungswerth ausdrückenden Bruches.
1800	Delambre	334
1830	Airy	299,33
1841	Bessel	299,153
1856	Clarke	297,72
1858	James	291,86
1866	Clarke	294,979
1868	Fischer	288,50
1872	Listing	289,00

Ein Blick auf diese Ziffern zeigt, dass man der Erde im Laufe dieses Jahrhunderts nach und nach eine immer stärkere Abplattung beimass, und noch jetzt entbehrt die Feststellung dieses Werthes der nöthigen Sicherheit und Genauigkeit. Ganz dasselbe gilt auch von der Grösse der Erde. Wir dürfen kaum behaupten, den mittleren Halbmesser derselben bis auf den 7000sten Theil, d. h. bis auf etwa 910 Meter genau zu kennen! Daraus geht hervor, dass die Unsicherheit in unserer Kenntniss des Areals der Erdoberfläche sich

[1]) Berliner astronom. Jahrbuch für 1852, S. 322.

[2]) Nach J. B. Listing, Gestalt und Grösse der Erde. S. 51.

zur Zeit noch auf den fünffachen Flächeninhalt der Insel Sicilien beläuft [1]).

Diese Unsicherheit würde weit geringer sein, wenn die Erde die Gestalt eines reinen Rotationsellipsoids besässe. Indessen ist sie mit so viel Unregelmässigkeiten behaftet, dass die Einfachheit der Rechnung gestört und die Richtigkeit derselben sehr in Frage gestellt wird, zumal die bisher über die Erde gezogenen Triangulationsnetze im Verhältniss zum Erdganzen nur ausserordentlich kleine Flächenräume bedecken.

Schon die einzelnen Bogenstücke der englischen und französischen Gradmessungen zeigten Anomalien, was bei den hannover'schen und später bei den ostpreussischen Messungen noch deutlicher hervortrat. So hat ein Grad des von Gauss gemessenen hannover'schen Bogens, in seiner Mitte unter 52° 32′ 16,6″ n. Br. gelegen, eine Länge von 57 126,4 Toisen, ein solcher des englischen Bogens unter einer mittleren Breite von 52° 35′ 45,0″ aber nur von 57075,0 T., obwohl der letztere als der vom Aequator entferntere dem Gesetze der Abplattung gemäss grösser sein sollte als der erstere. Ferner beträgt die Länge eines preussischen Meridiangrades, im Mittel unter 54° 58′ 26,0″ n. Br., nach Bessel's Messungen 57 145,2 T., während Struve und Tenner für die Länge eines russischen Grades in 56° 3′ 55,5″ n. Br. nur 57 137,0 T. fanden. Derartige Ergebnisse beweisen evident, dass die Erde von der elliptischen Form örtlich abweicht. Man hat sich also einen Querschnitt durch die Erde von Pol zu Pol nicht als ein reines Ellipsoid zu denken, sondern die wahre Oberfläche wird stellenweise einen Hohlraum, stellenweise eine Wölbung längs der mathematischen Linie bilden.

Um die manigfachen Unregelmässigkeiten der Gradlängen zu erklären, haben v. Schubert [2]) und Clarke [3]) die Erde als ein Ellipsoid von drei ungleichen Axen darzustellen versucht. In diesem Falle hat man sich den Aequator nicht als einen Kreis, sondern als eine Ellipse zu denken, deren grosse und kleine Axe hinsichtlich ihrer Lage und Grösse zu bestimmen sind. v. Schubert fand die Länge der halben Polaraxe = 6 356 719,4 Meter; für die grosse Halbaxe

[1]) J. B. Listing, l. c. Nota zu S. 54.

[2]) Mém. de l'Acad. Petersbourg, VII. Serie, tome I (1859), Nr. 6. Essai d'une détermination de la veritable figure de la terre.

[3]) On the Figure of the Earth, by Capt. A. R. Clarke, read 8. April 1860, in Memoirs of the Royal Astronomical Society, Vol. XXIV. London 1861. p. 2 und: Comparisons of the Standarts of Length of England, France, Belgium, Prussia, India, Australia, by Cpt. A. R. Clarke under the direction of Colonel Sir Henry James. London 1866. p. 281—287.

des Aequators erhielt er eine Länge von 6 378 555,6 Metern, für die kleine eine solche von 6 377 837,4 Metern. Nach v. Schubert's Bestimmungen gehört die grosse Aequatorialaxe zu 58° 44' ö. L. v. Ferro, die kleine zu 148° 44' ö. L. v. F. Hiernach würde der grösste Meridiankreis Archangel, Erzerum, das südliche Ende des rothen Meeres und Mozambique, ferner den östlichen Theil des Territoriums Aliaska berühren, während der kleinste, zur Länge 148° 44' gehörig, das Lenadelta und Ostsibirien, die Mandschurei, das japanische Meer und beinahe die Mitte von Neuholland, endlich Brasilien, die Mündung des Amazonas und die Westküste von Grönland (bei Godhaab) durchschneiden würde. Clarke wiederholte zweimal (1861 und 1866) den Versuch, ein dreiaxiges Ellipsoid zu construiren, obwohl v. Schubert selbst bereits zwei Jahre nach Veröffentlichung seiner Berechnungen die Idee eines elliptischen Erdäquators wieder fallen liess. Clarke's zweite Berechnung, welche ebenso wie seine erste ganz dem auf die Methode der kleinsten Quadrate gegründeten Verfahren entspricht, ergab folgende Werthe: für die halbe Polaraxe 6 356 068,1 Meter, für den grössten Radius des Aequators 6 378 294,0 Meter und für den kleinsten Radius des Aequators 6 376 350,4 Meter. Der grösste Radius kommt nach Clarke auf 15° 34' ö. L. v. Greenwich zu liegen; der grösste Meridiankreis trifft somit Spitzbergen, das Riesengebirge, Messina, den Tsad-See, sowie die Sandwich-Inseln und die westlichsten Theile von Aliaska; der kleinste hingegen, 105° 34' ö. L. v. Gr., berührt nahezu das asiatische Nordkap und Irkutsk, führt durch die Mongolei und durch Hinterindien, geht endlich an der Westküste Patagonien's vorbei und über Ecuador, die Ostspitze von Cuba und Canada nach der Baffinsbay.

Indessen sind gegen die Annahme eines dreiaxigen Ellipsoids bereits verschiedene gewichtige Einwände geltend gemacht worden, so namentlich von Ph. Fischer in seiner vorzüglichen Schrift: „Untersuchungen über die Gestalt der Erde". Ganz abgesehen davon, dass sich die Bildung eines dreiaxigen Ellipsoids von den besprochenen Axenverhältnissen nicht mit der Entstehung der Erde aus einer flüssigen Masse in Einklang bringen lässt, ist vor allen Dingen darauf hinzuweisen, dass wir zur Zeit noch keine genügende Anzahl zuverlässiger Gradmessungen in den verschiedensten Gebieten der Erde besitzen, um aus ihnen eine derartige Gestalt unseres Planeten mit einiger Sicherheit abzuleiten. Ferner mögen die beobachteten Anomalien der Erdoberfläche — sofern dieselben nicht eine Folge von Messungsfehlern sind — nicht selten durch die oben bereits erwähnten Unregelmässigkeiten des Meeresspiegels hervorgerufen oder wenigstens vergrössert werden. Wir müssen uns hierbei immer bewusst bleiben, dass das

Geoid, d. h. die unregelmässige oceanische Oberfläche, welche wir uns in einem Netze von Canälen in Gedanken über die ganze Erde erweitert denken können, sich nicht unbeträchtlich von dem Sphäroid unterscheidet, d. h. von demjenigen Körper, welcher, durch einen einfachen mathematischen Ausdruck darstellbar, in Form und Grösse sich möglichst eng an das Geoid anschliesst, aber von diesem bald überragt, bald nicht ganz erreicht wird [1]). Die genaue Messung des Geoids, sowie der geoidischen Erhöhungen über und der Vertiefungen unter die Sphäroidfläche ist jetzt eines der Hauptziele der Geodäsie: ein Ziel freilich, von dem wir gegenwärtig noch weit entfernt sind. Früher wählte man immer solche Gebiete für Bogenmessungen aus, auf welchen keine namhaften Abweichungen von der idealen geometrischen Figur zu befürchten waren. Von solchen unwillkommenen Abnormitäten wird in Zukunft nicht mehr die Rede sein; sie werden vielmehr wesentliche Dienste leisten zur Ausmittelung geoidischer Unregelmässigkeiten, wie zur Erforschung ihrer Ursachen. Ist ja, wie Listing mit vollem Rechte bemerkt [2]), das Sphäroid nicht das letzte Object der geometrischen Untersuchungen des Erdkörpers, sondern das Geoid mit seinen verwickelten Gestaltungen vorerst in allgemeinen Zügen und nachgehends bis in die localen Einzelnheiten.

Um die Grösse der Erde zu bestimmen, ist es nicht nothwendig, Entfernungen längs eines Mittagskreises zu messen; es können vielmehr hierzu ebenso gut Stücke eines Breitenkreises gewählt werden. Hatte man aber schon grosse astronomische Schwierigkeiten zu überwinden, um die geographische Breite der Bogenendpunkte mit der nöthigen Schärfe festzustellen, so war es vor Erfindung des elektrischen Telegraphen noch viel schwieriger, die geographischen Längen zweier Orte mit vertrauenswerther Schärfe zu ermitteln.

Eine Längengradmessung zerfällt ebenso wie eine Breitengradmessung in einen astronomischen und einen geodätischen Theil, von denen der letztere auch durch Triangulation erledigt wird. Dagegen beruht die astronomische Bestimmung eines Parallelkreisbogens auf ganz anderen Grundlagen als die Messung eines Meridiangrades, und diese neue Grundlage verdanken wir dem britischen Reichsastronomen Flamsteed (1646—1719), einem Zeitgenossen Newton's, welcher uns zuerst die Umdrehungsgeschwindigkeit der Erde als Winkelmass benützen lehrte.

Da sich die Erde mit steter Gleichförmigkeit um ihre Axe dreht, so vollzieht auch der Sternenhimmel mit derselben Gleichförmigkeit

[1]) Vgl. J. B. Listing, Gestalt und Grösse der Erde. Göttingen 1872. S. 55 ff.

[2]) l. c. S. 63.

seine scheinbare Bewegung um die in's Endlose verlängert gedachte Erdaxe, welche dann zur Himmelsaxe wird. Die Zeit einer wirklichen ganzen Umdrehung der Erde oder einer scheinbaren des Sternenhimmels, den sogenannten Sterntag, theilen astronomische Uhren, welche nach Sternzeit gehen (1 Sterntag = 23 Stunden 56 Minuten 4,09 Secunden eines mittleren Sonnentages), in bekannter Weise in Stunden, Minuten und Secunden ab, so dass jedem Zeittheil ein bestimmter Drehungswinkel, oder, da alle Winkel durch Bogen gemessen werden, ein bestimmter Bogen entspricht, z. B. einer Zeitsecunde 15 Bogensecunden u. s. w. In diesem Sinne ist die Uhr ein Messinstrument der Sternwarten geworden. Selbstverständlich giebt sie für sich allein keinen Winkel an, sondern nur in Verbindung mit einem in der Meridianebene drehbaren Fernrohre, dem Passagen-Instrument, welches den Augenblick bezeichnet, in welchem irgend ein Stern den Meridian des Beobachtungsortes passirt. Stellt man auf zwei Punkten eines Parallelkreises der Erde je ein solches Instrument, sowie Uhren von grosser Genauigkeit auf, welche beide für einen Ort regulirt sind, und notirt daselbst die Zeiten, in denen ein und derselbe Stern durch das Passagen-Instrument hindurchgeht, so ergiebt sich aus dem Zeitunterschied sofort der Winkel, welchen die Meridianebenen der Beobachtungsorte an der Erdaxe mit einander bilden; denn einer Zeitsecunde entsprechen, wie oben erwähnt, 15 Bogensecunden. Ist auf diese Weise der Winkel und geodätisch der dazu gehörige Bogen gemessen, so erhält man die Länge eines Grades des betreffenden Parallelkreises, indem man die Länge des Bogens durch die Anzahl der gefundenen Grade dividirt. Es ist klar, dass sich die Grösse der Breitengrade vom Aequator aus nach Norden und Süden beständig vermindert, weil die Halbmesser der auf der Erdaxe senkrecht stehenden Parallelkreise mit dem Cosinus jener Breite sich ändern.

Die Zeitdifferenz erlangt man ebenso leicht auf folgende Weise. Man stellt zunächst die wahre Zeit für die Orte an den beiden Endpunkten des Bogens fest, was durchaus keine Schwierigkeiten bietet. Hat man z. B. die Höhe des oberen Sonnenrandes zu einer bestimmten Zeit des Vormittags gemessen und am Nachmittag den Moment notirt, in welchem sich der obere Sonnenrand genau in derselben Höhe befand, so ist das arithmetische Mittel beider Zeiten die wahre Mittagszeit des Ortes, d. h. die Zeit, in welcher die Sonne den Meridian passirt. Wenn diese Beobachtungen an beiden Orten ausgeführt sind und die Uhren genau die ihnen zukommende örtliche Zeit zeigen, dann werden sie mit einander verglichen, und man erhält so den gesuchten Zeit- und Längenunterschied.

Es giebt offenbar keine einfacheren und selbst auf weiten Reisen

leichter zu handhabenden Instrumente für Längenbestimmungen als tragbare, möglichst gleichmässig gehende Uhren, Chronometer, weshalb sie auch von den Seefahrern vorzugsweise hierzu benutzt werden. Indessen hat dieses Verfahren auch seinen dunklen Punkt: es sind dies die auf langen Reisen durch Erschütterungen, Wechsel der Temperatur- und Feuchtigkeitsverhältnisse u. s. w. herbeigeführten Unregelmässigkeiten im Gange der Chronometer. Obwohl nicht zu verkennen ist, dass die Kunst in der Herstellung genau gehender Chronometer Glänzendes leistet, so ist es doch — selbst bei gleichzeitigem Gebrauch einer Anzahl dieser Instrumente — nicht möglich, auf diesem Wege Resultate zu erlangen, welche für geographische Längenbestimmungen genügen.

Eine andere Methode der Längenbestimmung, welche unabhängig ist von dem Gang der Uhr, besteht darin, dass man zwischen den Orten, deren Längenunterschied gemessen werden soll, ein von beiden aus sichtbares Signal giebt, indem man vielleicht eine kleine Menge Pulver anzündet oder eine Rakete aufsteigen lässt. Die beiden Beobachter, deren Uhren ihrem Standpunkte gemäss astronomisch regulirt sind, notiren sofort die Zeit, in welcher sie das Signal bemerkten, und eine Vergleichung ergiebt den Zeit- und Längenunterschied beider Orte. Man spricht dann von „Längenbestimmungen durch Pulversignale". Schon Cassini de Thury und Lacaille bedienten sich 1740 der Pulver-Signale, um einen Perpendikel auf dem Meridian von Paris zu messen [1]).

Liegen die zu fixirenden Punkte nahe bei einander und auf dem Festlande, so ist dieses Verfahren leicht auszuführen; bei weiter entfernten und wohl gar durch Meere von einander getrennten Orten hingegen ist dies aus nahe liegenden Gründen unmöglich. In diesem Falle benützte man — und zwar schon im Alterthume [2]) — als Signale gewisse Erscheinungen am Himmel, welche auf einer ganzen Erdhälfte in demselben Augenblick beobachtet werden können: Verfinsterungen des Mondes und späterhin (nach Erfindung des Fernrohres) die sehr häufig eintretenden Verfinsterungen der Jupitertrabanten. Man verzeichnete genau den Eintritt derselben an zwei verschiedenen Stationen und verglich hierauf die beiden, für jeden Punkt astronomisch bestimmten Uhrzeiten, um aus der Differenz derselben die Längenunterschiede der beiden Orte zu berechnen.

[1]) A. v. Humboldt, Kosmos. Bd. IV, S. 23.

[2]) So hat Ptolemäus aus einer Mondfinsterniss des Jahres 331 v. Chr., welche bei Arbela um die fünfte, in Carthago um die zweite Stunde der Nacht beobachtet worden war, den Längenunterschied beider Orte berechnet. Peschel, l. c. S. 48.

Aber auch der nicht verfinsterte Mond gewährt uns durch seine Bewegung am Sternenhimmel ein Mittel zu Längenbestimmungen. Er vollendet in der Richtung von West nach Ost in c. $27\frac{1}{3}$ Tagen einen Weg um den ganzen gestirnten Himmel; er rückt somit täglich mehr als 13^{0} unter den Sternen des Thierkreises nach Osten vor, also stündlich mehr als 32,5′. Der Mond ist demnach, um ein bekanntes Gleichniss Sir John Herschel's zu gebrauchen, ein Zeiger, welcher an dem durch die Sterne mit Stunden- und Minutenstrichen versehenen Zifferblatte des Himmels rastlos vorwärts schreitet und zwar scheinbar gleichförmig, in Wirklichkeit aber nach sehr complicirten Gesetzen. Man berechnet nun nach der Zeit einer Sternwarte auf etliche Jahre voraus, an welcher Stelle unter den Gestirnen der Mond von drei zu drei Stunden gesehen werden muss, und so kann ein Beobachter an irgend welchem Ort der Erde stets durch Messung der Entfernungen des Mondes von den betreffenden Himmelskörpern ermitteln, wie viel Uhr es während seiner Beobachtung auf derjenigen Sternwarte ist, deren Almanach er benützt. Hieraus ergiebt sich der Zeit- und somit auch der Längenunterschied beider Orte Noch ist hierbei zu beachten, dass der Mond im Vergleich zu den Fixsternen der Erde ausserordentlich nahe ist, nahe Punkte aber auf weit entferntem Hintergrunde schon bei geringer Ortsveränderung des Beobachters sich bedeutend verschieben. Es ist daher noch zu berechnen, welche Stellung der Mond, vom Mittelpunkt der Erde aus betrachtet, einnehmen würde, was mit keinerlei Schwierigkeiten verbunden ist, da die Entfernung des Mondes von der Erde bekannt ist. Die ersten zum Zwecke genauerer Längenbestimmungen brauchbaren Mondtafeln lieferte Tobias Mayer, ein Landsmann Kepler's, im Jahre 1753; neuerdings wurden sie bedeutend vervollkommnet durch den Astronomen Hansen in Gotha.

Während man mit Hilfe der genannten Methoden selbst bei der sorgfältigsten Ausführung kaum Theile von Zeitsecunden genau zu bestimmen vermag, bietet die elektro-magnetische Telegraphie ein Mittel dar, noch bis auf Hundertel einer Secunde (etwa 0,02 Sec. in Zeit oder 0,3 in Bogen) einen Längenunterschied festzusetzen. Käme ein durch den Telegraphen gegebenes Zeichen augenblicklich an seinem Ziele an, so brauchte man einfach nur die Ortszeit zu telegraphiren, und die Zeitdifferenz wäre gefunden. Allein dem ist nicht so; denn nicht bloss ist die Geschwindigkeit des elektrischen Stromes keine unendlich grosse, sondern es verstreichen auch einige Momente, bis der Elektromagnet sich wirksam erweist und den Anker anzieht, um das nöthige Signal zum Ausdruck zu bringen. Da sich diese Zeit nicht direct feststellen lässt, so galt es, die Ermittelung derselben überflüssig

zu machen. Man erreicht dies auf folgende Weise. Man telegraphirt nicht bloss von dem Ort *A* nach *B*, sondern auch wieder rückwärts von *B* nach *A*. Liegt *A* östlich von *B*, so ist die von ihm telegraphirte Zeit etwas voraus gegen die von *B*. Da nun der elektrische Strom seine Arbeit nicht momentan verrichtet, so ist der Unterschied der von *A* aus signalisirten Zeit und der Zeit des Ortes *B*, wohin telegraphirt wurde, um die Zeitdauer der Uebertragung kleiner als der wirkliche Zeitunterschied beider Orte. Nun wird von *B* aus zurücktelegraphirt. Die signalisirte Zeit ist zurück gegen die des Ortes *A*, und da das Zeichen hier etwas später anlangt, als es gegeben wurde, so wird hierdurch der Unterschied der signalisirten Zeit und der des Ortes *A* um die Zeitdauer der Uebertragung grösser als der wirkliche Zeitunterschied beider Orte. Ist nun der eine Zeitunterschied um ebenso viel zu klein, als der andere zu gross ist, so giebt uns das arithmetische Mittel beider den wahren Zeitunterschied an. Ueberdies sind auch diese Messungen mit einem allerdings kleinen Fehler behaftet. Wenn nämlich zwei Personen denselben Schall hören oder denselben Gegenstand sehen, so kommen ihnen doch die gegebenen sinnlichen Reize nicht gleichzeitig zum Bewusstsein, selbst dann nicht, wenn die Schallquelle oder das vom Auge wahrgenommene Object gleichweit von beiden entfernt ist. Will man darum den höchsten Grad von Genauigkeit in den Resultaten erreichen, so ist es nothwendig, dass die Beobachter in *A* und *B* ihre Plätze gegenseitig vertauschen.

Da die mit Hilfe der Telegraphie ermittelten Längenbestimmungen an Werth die anderen bedeutend übertreffen, so wird diese Methode jetzt überall, wohin telegraphische Leitung führt, in Anwendung gebracht, während hier die optischen Signale (z. B. Pulverblitze oder Blickfeuer), sowie Zeitübertragungen durch Chronometer ausgeschlossen werden, weil diese Hilfsmittel keine hinreichend correcten Resultate liefern.

Die erste Längengradmessung wurde in den Jahren 1733 und 1734 von Cassini de Thury und Maraldi auf dem Parallel von Paris ausgeführt. Von wissenschaftlicher Bedeutung aber war erst die von 1811 bis 1825 in der Nähe des 45. Parallelkreises von Brousseaud, Largeteau, Plana und Carlini vorgenommene Messung, welche von Marennes (an der Girondemündung) durch Frankreich über Turin und Mailand bis nach Fiume reicht. Sie umfasst einen Bogen von 15° 32′ 27″. Die ausgedehnteste Längengradmessung ist die russisch-mitteleuropäische. Sie wurde im Jahre 1857 nach Wilh. Struve's Plan begonnen und erstreckt sich unter dem 52. Grad n. B. von Valentia (Westküste Irland's) bis Orsk (Gouv. Orenburg), also über 69 Längen-

grade. Erst im Jahre 1872 erfolgte die Beendigung. Die grossartigste und umfassendste aller dieser Arbeiten wird einst die von dem preussischen General Baeyer im Jahre 1861 angeregte „mitteleuropäische Gradmessung“ sein, welche in Folge des Beitritts sämmtlicher europäischer Staaten (Griechenland und die Türkei ausgenommen) bald zu einer europäischen wurde. Sind nun auch schon umfangreiche Triangulationen und Nivellements vorgenommen worden, so ist doch bei dem grossen Umfang des Unternehmens und der Sorgfalt der Ausführung seine Beendigung in weite Ferne gerückt.

II. Localattraction und Dichtigkeit der Erde.

In dem vorigen Abschnitt (S. 165) wurde bereits darauf hingewiesen, dass die hannover'sche und englische, sowie die preussische und russische Meridiangradmessung zu Resultaten geführt haben, welche nicht im Einklang mit einander stehen. Geodätische Fehler von Bedeutung liegen hier sicher nicht vor; wir mussten deshalb annehmen, dass der Erdkörper keine rein sphäroidische Gestalt besitzt, sondern erhebliche Unregelmässigkeiten an sich trägt. Wahrscheinlich ist jedoch hierbei eine Fehlerquelle mit im Spiel, welche nicht immer genügend beachtet worden ist: die Ablenkung des Bleilothes von der Verticalen.

Alle astronomischen Winkelmessungen an der Erdoberfläche beruhen nämlich auf dem guten Glauben, dass das Loth senkrecht stehe auf dem Horizont des Beobachtungsortes, oder dass die Oberfläche des Quecksilbers in einer Schale oder die Luftblase in einer mit Wasser gefüllten Glasröhre aus ihrer normalen Lage nicht verrückt werde. Ohne Zweifel gilt dies immer, wenn die genannten Instrumente auf einer Ebene zur Anwendung gelangen, welche weithin aus gleichschweren Gesteinschichten besteht. Erheben sich jedoch von dem Beobachter aus nach der einen Richtung hin mächtige Gebirge, so muss nothwendig das Bleiloth gegen dieselben hingezogen werden. Ganz ähnliche Wirkungen ergeben sich, wenn sich von dem Punkte aus, an welchem jene Messungen stattfinden, unter der Erdoberfläche einseitig relativ schwere Felsmassen oder weite Hohlräume ausbreiten. Man spricht in solchen Fällen von einer Abweichung des Lothes in Folge Localattraction.

Schon Newton hatte eine solche Ablenkung des Lothes vorausgesehen; sie war ja eine nothwendige Consequenz seines Gravitationsgesetzes, welches sich auch in dieser Hinsicht später glänzend bewähren sollte. Aber erst Bouguer gelang es im Jahre 1738, durch seine an den Abhängen des Chimborazo angestellten Beobachtungen

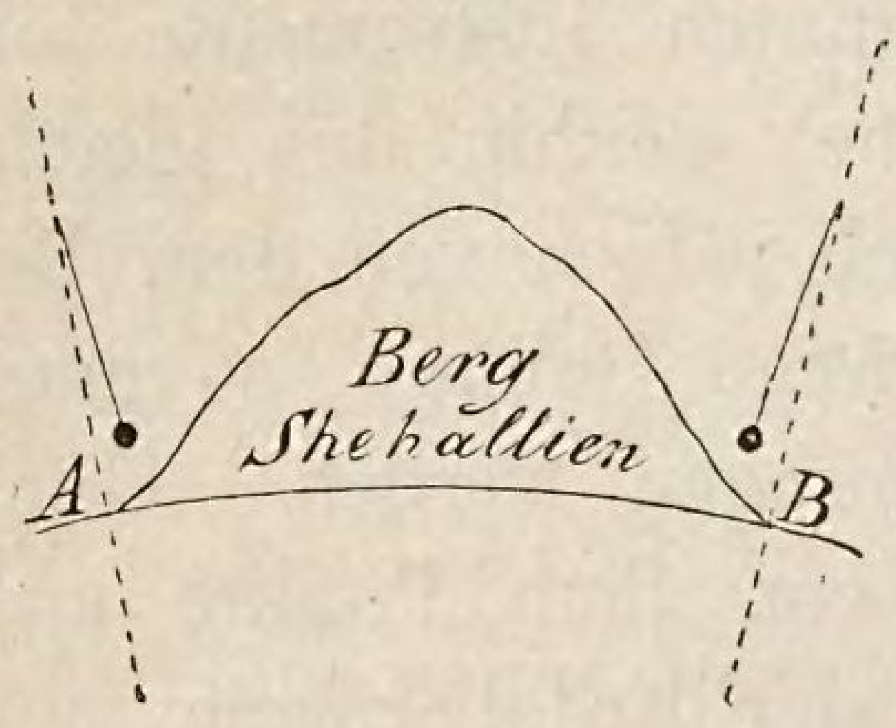
und Messungen eine Abweichung des Lothes aus der verticalen Richtung thatsächlich nachzuweisen. Sie betrug hier $7\frac{1}{2}''$ [1]).

Wie ist es nun möglich, eine so geringfügige Ablenkung des Lothes von der Verticalen zu erkennen?

Bei astronomischen Messungen bestimmt man die Richtung der Horizontalen mit Hilfe der Wasserwage; somit liegt das Zenith stets in der Richtung des Bleilothes, und die Zenithdistanz eines Fixsternes ist demnach der Winkel, dessen Schenkel die Lothlinie und die Visirlinie nach dem Sterne sind. Beobachtet man nun die Zenithdistanz eines Fixsternes bei seiner Culmination an zwei auf demselben Erdmeridian gelegenen Orten A und B, so ergiebt sich aus dem Unterschied der beiden Zenithdistanzen der Winkel, den die beiden Lothe in A und B mit einander bilden, oder — was dasselbe ist — der Unterschied der Polhöhe, also der geographischen Breite von A und B. Die so gemessene Amplitude (α) des Meridianbogens zwischen A und B muss nothwendig fehlerhaft werden, wenn die Anziehungskraft einer Bergmasse das Bleiloth an einer der beiden Stationen oder wohl gar an beiden von der verticalen Richtung ablenkt, weil die Zenithdistanzen dann zu gross oder zu klein ausfallen. Ermittelt man nun die lineare Länge des Bogens zwischen A und B durch Triangulation, so kann man, da Gestalt und Grösse der Erde bekannt sind, den wahren Breitenunterschied berechnen. Bezeichnen wir die so berechnete Amplitude des Bogens zwischen A und B mit β, so ist klar, dass der Werth $\alpha-\beta$ der Summe der Lothablenkungen an beiden Stationen gleich ist.

Wir erläutern dies an dem folgenden bekannten Beispiel.

Fig. 20.



Maskelyne [2]), der in Gemeinschaft mit Hutton [3]) im Jahre 1774 am Nord- und Südabhange des Berges Shehallien (in Perthshire, nahe bei Blair Athol, 6 geogr. Meilen nw. von Perth) umfassende Untersuchungen anstellte, beobachtete bei dieser Gelegenheit, dass die Bleilothe zweier auf demselben Meridian gelegenen Orte A und B (Fig. 20) einen Winkel von 54,6'' mit

[1]) Boguer, Figure de la Terre. Paris 1749. p. 369 sq.

[2]) An Account of Observations made on the Mountain Shehallien for finding its Attraction in den Philosophical Transactions of the R. Soc. of London. Vol. LXV (1775), p. 500—542.

[3]) An Account of the Calculations made from the Survey and Measures taken at Shehallien, in order to ascertain the Mean Density of the Earth in den Philosophical Transactions of the R. Soc. of London. Vol. LXVIII (1778), p. 689—788.

einander bildeten; dieser Werth ergab sich aus den an beiden Stationen wiederholt gemessenen Zenithdistanzen von 43 Sternen. Da jene Orte jedoch nur 4364,4 e. Fuss (1330,25 Meter) von einander entfernt lagen und ein Meridianbogen von der Grösse einer Bogensecunde unter 56° 40′ n. Br. eine Länge von 101,64 e. Fuss (30,7856 Meter) hat, so entspricht die Strecke von 4364,4 e. Fuss nur einem Bogen von 42,94″, d. h. aus der geodätischen Messung folgt, dass A 42,94″ südlich von B liegt. Die locale Abweichung beider Lothe betrug somit 54,6″—42,94″ = 11,66″. Die Lothe waren also nicht gegen den Mittelpunkt der Erde gerichtet, sondern wurden durch den Einfluss des Berges in Summa um 11,66″ von der Verticalen abgelenkt.

In der Nähe von Hochgebirgen erfährt das Bleiloth gewöhnlich eine Störung seiner verticalen Richtung. So bemerkt man in Genf eine Lothablenkung von 6,41″ und in Bern von 7,73″ südlich, d. h. die beobachteten Polhöhen sind um den gleichen Betrag zu weit nach Norden gerückt. Mailand hingegen hat eine Lothablenkung von 12,83″ nördlich; die astronomisch bestimmten Breiten erscheinen demnach hier nach Süden verschoben. Ferner erweist sich (nach einer geodätischen Abhandlung des k. russ. Oberst Stebnitzki „über die Ablenkung der Lothlinie durch den Kaukasus“) die Attraction des Kaukasus ausserordentlich wirksam. Kommt man von Nord her, so findet sich in einer Entfernung von ungefähr 20 geogr. Meilen nur eine sehr geringe Lothablenkung; bei weiterer Annäherung aber steigt sie rasch und variirt auf der Nordseite zwischen 5 und 28 bis 30″; bei Wladikawkas erreicht sie sogar 35,8″. Bringt man jedoch an diesen Punkten die aus der Anziehung des Kaukasus berechneten Correctionen an, so verschwinden jene Differenzen bis auf kleine Grössen, welche als innerhalb der Grenzen der Beobachtungsfehler liegend angesehen werden können. Dagegen verändern sich die Verhältnisse vollständig, wenn man den Kaukasus überschreitet. Der hart am Südfusse gelegene Ort Duschet zeigt noch eine Lothablenkung (18,3″ nördlich), wie die Nähe des Kaukasus sie fordert; in Tiflis aber beträgt die Abweichung schon 6 bis 7″; etwas weiter steigt sie auf 25″; und in Schemacha findet nicht eine positive Abweichung von 28″, welche die Rechnung verlangt, sondern eine negative von 15″ statt. Hier ist also die Anziehungskraft des Kaukasus geringer als die von irgend einer anderen jenseits wirkenden Masse herrührende. Das Loth prallt gleichsam vom Gebirge ab, was darauf hindeutet, dass die Dichtigkeit der Erdschichten in dem von dem Gebirge abgewandten Theile eine weit grössere ist als in dem ihm zugewandten. Vielleicht ist diese Ano-

malie in dem vulcanischen Charakter der Gegend begründet, da Schemacha oft von Erdbeben heimgesucht und mehr oder weniger verwüstet wird [1]).

Obwohl, wie in dem Vorhergehenden gezeigt worden ist, in den Anden, den Grampians, den Alpen und im Kaukasus ansehnliche Abweichungen des Lothes von der Verticalen beobachtet worden sind, so entdeckten doch die an der indischen Gradmessung betheiligten Engländer mit grosser Ueberraschung, dass die Lothlinie von den ungeheuren Bergmassen des Himalaya fast gar nicht abgelenkt wurde. Als Pendant hierzu erwähnen wir die Thatsache, dass die Russen unweit Moskau, also mitten in der Ebene, eine plötzliche Ablenkung des Lothes von 12″ fanden. Da an jener Stelle gerade eine geognostische Formation ihr Ende erreicht, so liegt die Vermuthung nahe, dass die verschiedene specifische Schwere der Felsarten die Ursache jener Ablenkung ist.

Das Loth erweist sich hier offenbar als ein geognostisches Senkblei. Auch erkennen wir nun, dass an allen Küstenpunkten eine beträchtliche Lothablenkung stattfinden muss, wenn der Meeresboden jäh zu ansehnlicher Tiefe hinabsinkt, da sie am Rande von Becken liegen, die mit specifisch leichteren Massen, nämlich mit Seewasser angefüllt sind. Endlich erhält die schon früher (S. 158 f.) geforderte Niveauerhöhung der Oceane an ihren continentalen Ufern auch hier ihre Bestätigung.

Bedeutungsvoll ist die Ablenkung des Lothes durch Bergmassen insofern geworden, als sie uns ein Mittel an die Hand gegeben hat, das specifische Gewicht des Erdkörpers zu bestimmen. Der erste Versuch dieser Art wurde von Maskelyne und Hutton in den Jahren 1774 bis 1776 unternommen; er knüpft sich an den hierdurch denkwürdig gewordenen Berg Shehallien in Perthshire (vgl. S. 174 f.).

Wie ist eine derartige Berechnung auszuführen? Die Erde übt auf jeden materiellen Punkt eine Anziehung aus, ebenso aber auch jeder andere Körper. Die Kräfte, mit welchen ein materieller Punkt P einestheils von der Erde, anderntheils von irgend einem anderen Körper, z. B. einer Bergmasse, angezogen wird, verhalten sich (nach den bekannten Gesetzen der Gravitation) direct wie die Massen und umgekehrt wie die Quadrate der Entfernungen des Punktes P von dem Schwerpunkt der Erde und demjenigen des betreffenden Körpers. Bezeichnen wir nun mit M die Erdmasse, mit m die Masse des Kör-

[1]) Vgl. v. Struve's Mittheilungen auf dem Congresse für die europäische Gradmessung in Wien 1871: Globus, Bd. XX (1871). Nr. 15, S. 238. 239.

pers, welcher die locale Ablenkung des Lothes verursacht, mit R und r die Entfernungen ihrer Schwerpunkte (d. i. des Erdmittelpunktes und des Schwerpunktes der Bergmasse) vom Lothe, mit AB (Fig. 21) die Grösse und Richtung der Anziehung der Erdmasse M in dem Abstande R (Erdhalbmesser) und mit AC die Grösse und Richtung der Anziehung der Bergmasse m in dem Abstande r, so ist die resultirende Grösse und Richtung der Anziehung gleich AG und α der Ablenkungswinkel des Lothes. Nennen wir die Wirkungen der beiderseitigen Anziehung E und e, so verhält sich

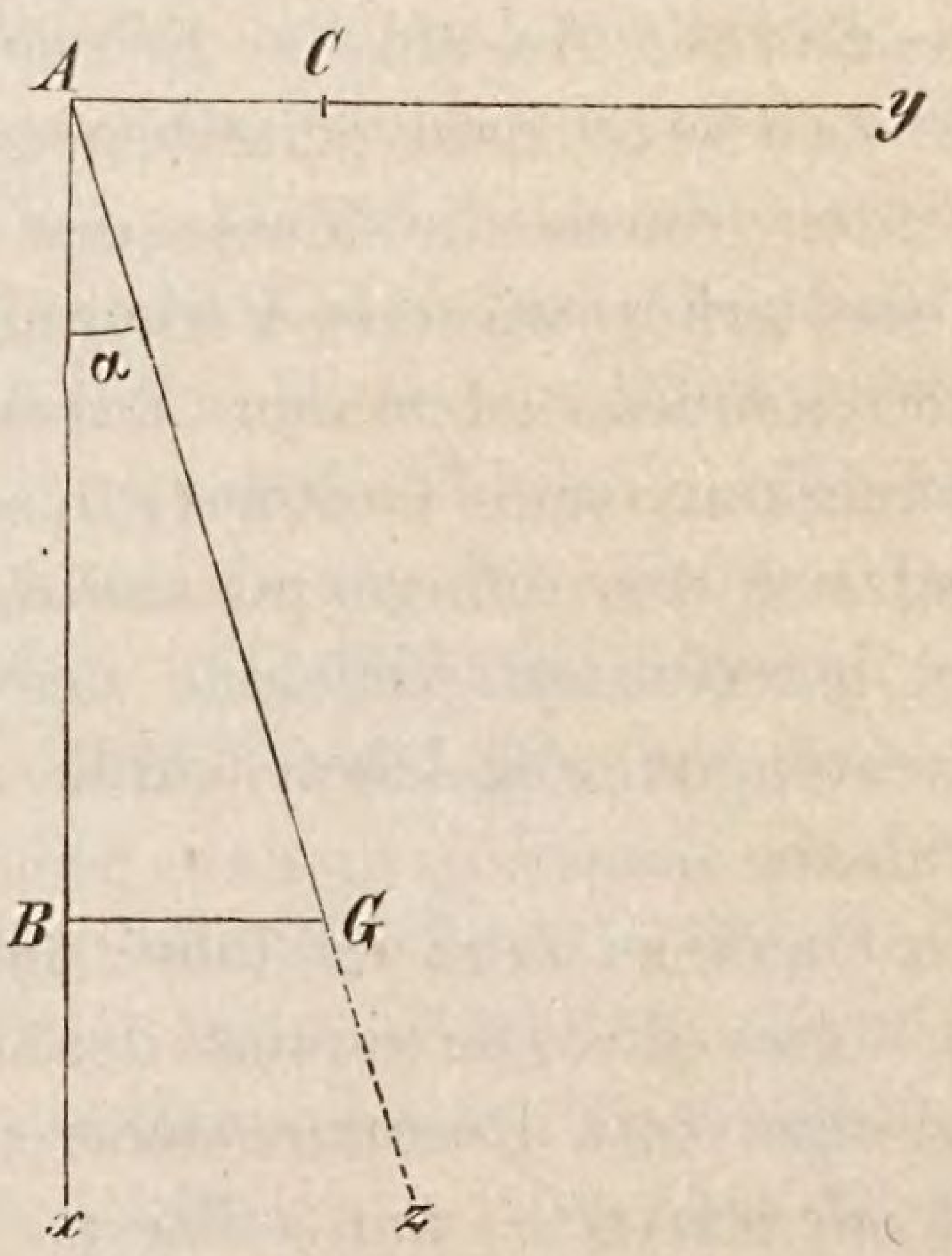
$$E:e = \frac{M}{R^2}:\frac{m}{r^2} = AB:BG = 1:\frac{BG}{AB} = 1:tang.\ \alpha.$$

Da nun die Erdmasse M gleich ist dem Product ihres Volumens $\frac{4}{3}R^3\pi$ und ihrer Dichte D, so setzt man diese Grösse für M in die obige Proportion und findet

$$D = \frac{3}{4}\ \frac{m}{R\pi r^2} \cdot \frac{1}{tang.\ \alpha.}$$

Der Ablenkungswinkel α des Lothes am Shehallien betrug nach Maskelyne 11,66″. Die Feststellung des Werthes m, der Masse des Berges, erforderte eine sorgfältige Untersuchung seiner Grösse und Gestalt (zur Berechnung des Volumens v), sowie seiner Dichtigkeit g; denn die Masse m ist gleich dem Product von v und g. Endlich musste auch die Lage des Schwerpunktes der Bergmasse aufgesucht werden zur Berechnung von r, der Entfernung desselben vom Lothe. Aus diesen Arbeiten ergab sich für die mittlere Dichtigkeit der Erde der Werth 4,713; demnach wäre unser Planet 4,713-mal so schwer als eine gleich grosse Kugel Wasser. So trefflich jedoch auch die hier angewandte Methode ist, so dürften die auf diese Weise gewonnenen Resultate doch wohl nie Anspruch auf einen hohen Grad von Genauigkeit erheben, da es ausserordentlich schwierig ist, Volumen, Dichtigkeit und Schwerpunkt einer Gebirgsmasse auch nur annähernd exact zu bestimmen. Insbesondere war dies bei dem Shehallien unmöglich, weil derselbe aus vier ver-

Fig. 21.



schiedenen Gesteinsarten, nämlich aus Quarzit, Glimmerschiefer, Hornblendeschiefer und Kalkstein besteht, deren Lagerungsverhältnisse noch dazu durchaus regellos sind.

Die Dichtigkeit der Erde lässt sich auch durch Pendelschwingungen auf hohen Bergen sowie in tiefen Schächten feststellen.

Je weiter wir uns mit dem Pendel über die Erdoberfläche erheben, um so langsamer schwingt dasselbe; denn die Schwerkraft, welche die Oscillationen des Pendels hervorruft, verhält sich umgekehrt wie das Quadrat der Entfernung vom Erdmittelpunkte. Ein im Luftballon in die Höhe getragenes Pendel wird daher in einer gewissen Zeit weniger Schwingungen machen als ein auf der Erdoberfläche sich befindendes in gleichem Zeitraume. Die Verzögerung der Pendelbewegung in der Höhe oder die Zahl, um welche die an der unteren Station in einer bestimmten Zeit absolvirte Anzahl von Schwingungen vermindert werden muss, lässt sich überdies ganz unabhängig von directen Beobachtungen genau berechnen.

Wesentlich anders liegen die Verhältnisse, wenn die höhere Station kein isolirter Standpunkt, sondern der Gipfel eines Berges ist, weil dann die Masse des Berges den Gang des Pendels beeinflusst und zwar beschleunigt, also die Anzahl der Schwingungen in einer gewissen Zeit wieder vergrössert. Vergleicht man nun die auf dem Berge beobachtete Anzahl der Schwingungen mit der für die gleiche Höhe berechnete Zahl derselben, so ergiebt sich ein Ueberschuss, welcher offenbar durch die Masse des Berges hervorgerufen ist. Auf diese Weise lernen wir das Verhältniss derselben zu der Masse der ganzen Erde kennen. Ist nun das Volumen des Berges und die mittlere Dichtigkeit seines Gesteins, also seine Gesammtmasse festgestellt, so lässt sich aus dieser und aus der Differenz zwischen der beobachteten und berechneten Abnahme der Schwere, wie sie aus den Pendelbeobachtungen abgeleitet wurde, die mittlere Dichtigkeit der Erde bestimmen.

Carlini fand im Jahre 1824 durch Pendelschwingungen auf dem Mt. Cenis die Dichtigkeit der Erde = 4,39. Doch ist dieser Werth in Folge eines Rechnungsfehlers viel zu klein ausgefallen; er ist nach Ed. Schmidt[1]) auf 4,837 zu erhöhen.

Dass auch diese Methode nur zu annähernd richtigen Werthen führt, lässt sich leicht ermessen, da hinsichtlich der Gestalt und Dichte des Berges die Ergebnisse stets mehr oder weniger unsicher sind.

Wie durch Pendelbeobachtungen auf Höhen, so lässt sich auch durch solche im Grunde tiefer Schächte die obige Aufgabe lösen.

[1]) Lehrbuch der mathematischen und physischen Geographie. Göttingen 1830. Bd. II, S. 481.

Diese Methode beruht im Wesentlichen auf dem Gesetze, dass ein materieller Punkt, welcher sich innerhalb einer sphärischen Körpermasse befindet, nur von denjenigen Theilen der Kugel angezogen wird, welche innerhalb der durch ihn selbst gehenden Kugelfläche enthalten sind, während die ausserhalb derselben gelegene Kugelschale ohne alle Wirkung bleibt, weil sich ihre Anziehungen gegenseitig aufheben. Hieraus folgt, dass zwei völlig gleichlange Pendel, von denen das eine an der Sohle, das andere an der Mündung eines tiefen Schachtes schwingt, in gleichen Zeiträumen nicht dieselbe Anzahl von Oscillationen vollenden. Eine Verzögerung müsste die Bewegung des unteren Pendels erfahren, wenn die Erde eine gleichmässige Dichtigkeit besässe. Da diese jedoch nach dem Erdmittelpunkte hin beträchtlich zunimmt, so dürfen wir im Erdinnern einen beschleunigten Gang des Pendels erwarten. Die Grösse dieser Beschleunigung aber, welche durch die mittleren Dichtigkeiten der äusseren Erdschale und des Erdganzen bedingt ist, gewährt uns ein Mittel, die mittlere Dichtigkeit der Erde zu berechnen [1]).

Nachdem Airy und Whewell, von besonderem Missgeschick betroffen, im Jahre 1826 sich vergeblich bemüht hatten, nach der angedeuteten Methode das specifische Gewicht der Erde zu bestimmen, nahm Airy mit besserem Erfolg im Jahre 1854 diese Arbeit wieder auf. Wesentliche Dienste leistete hierbei der während dieser Zeit erfundene elektrische Telegraph; denn nun erst war es möglich, den Gang des oberen und des unteren Pendels genau mit einander zu vergleichen. Airy's Versuche, angestellt in der Kohlengrube Harton bei South-Shields (östlich von Newcastle), die eine Tiefe von 1263 e. Fuss 6 Zoll (385 Meter) besitzt, ergaben für das untere Pendel in 24 Stunden eine Beschleunigung von $2^1/_4$ Secunden und für die mittlere Dichtigkeit der Erde den Werth 6,566 oder, mit Berücksichtigung der Temperaturdifferenzen beider Stationen, 6,623 [2]): ein Resultat, welches sicher zu hoch ist. Der Wahrheit näher kommt jedenfalls das von Haughton mit Hilfe der Beobachtungen Airy's, aber unter Anwendung einer anderen Methode gefundene Resultat 5,48 [3]).

Bei einem dritten und zwar dem zuverlässigsten Verfahren zur Bestimmung der Dichtigkeit der Erde bedient man sich der bereits

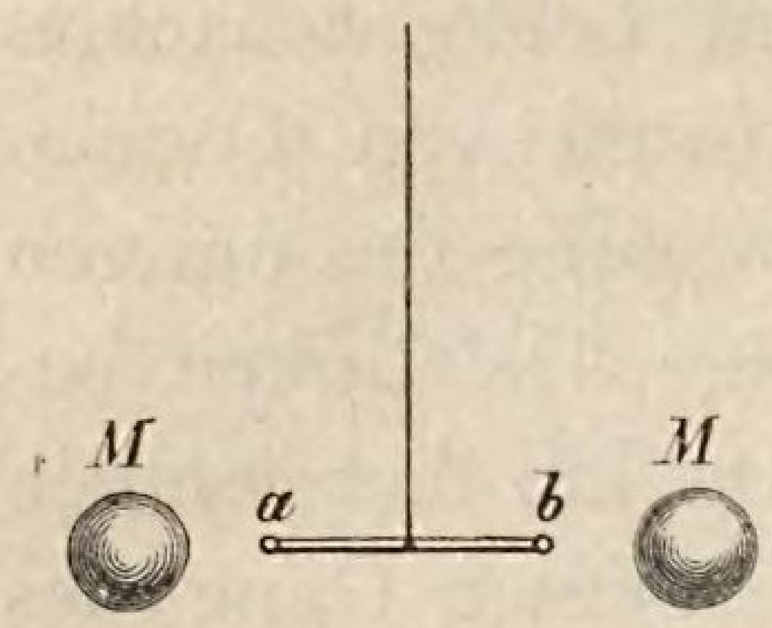
[1]) Vgl. C. F. Naumann, Lehrbuch der Geognosie. 2. Aufl. Leipzig 1858. Bd. I, S. 31 ff.

[2]) G. B. Airy, Account of Pendulum Experiments undertaken in the Harton Colliery, for the purpose of determining the Mean Density of the Earth in den Philosophical Transactions of the R. Soc. of London. Vol. CXLVI (1856), p. 297—355.

[3]) Philos. Magazine Vol. XII (1856), p. 50. Vgl. Poggendorff's Annalen, Bd. XCIX (1856), S. 332—334.

von Mitchell construirten, aber erst nach dessen Tode von Cavendish (1797 und 1798) zu diesem Zwecke verwandten Drehwage. Dieser Apparat hat etwa folgende Beschaffenheit (s. Fig. 22): An einem dünnen, herabhängenden Drahte befindet sich ein horizontaler, gleicharmiger Hebel, welcher an beiden Enden kleine Metallkugeln, *a* und *b*, trägt. Diese sind offenbar der Einwirkung der Schwere entzogen, und nur die Drehkraft des Fadens ist es, welche den aus seiner Ruhelage gebrachten Stab in diese zurückzuführen bestrebt ist. Es werden somit auch ganz schwache seitliche Anziehungen mit Hilfe dieses Instruments sichtbar und messbar. Nähert man den beiden kleinen Kugeln zwei grosse Bleikugeln, *M*, die in gleichem Sinne ablenkend auf den Stab einwirken, so kommt der horizontale Hebel aus seiner Ruhelage und wird in sehr langsame, horizontale Schwingungen versetzt. Aus der Amplitude und Zeit dieser Schwingungen, sowie aus den bekannten Massen und Abständen der Kugeln lässt sich die Intensität der Kraft berechnen, mit welcher die grossen Kugeln die kleinen anziehen, und daraus wieder die Masse und somit auch die mittlere Dichtigkeit der Erde.

Fig. 22.



Bezeichnen wir die Masse der Erde mit *M*, ihren Halbmesser mit *R*, die Masse der anziehenden Bleikugel mit *m*, den Abstand ihres Mittelpunktes von der angezogenen Kugel mit *r*, das absolute Gewicht der angezogenen Kugel mit *B* und die Anziehung, welche sie von der grossen Kugel erleidet, mit *b*, so ist

$$B:b = \frac{M}{R^2}:\frac{m}{r^2},$$

in welcher Proportion ausser der zu bestimmenden Masse *M* alles bis auf *b* bekannt ist Diese Grösse aber wird mit Hilfe der Drehwage ermittelt, indem aus der Amplitude der Schwingungen die Drehung des Drahtes gemessen und aus der Schwingungszeit die zu solcher Drehung erforderliche Kraft berechnet wird, welche der Anziehungskraft der grossen Kugel auf die kleine gleich ist[1].

Cavendish fand auf diese Weise die mittlere Dichtigkeit der Erde = 5,48. Mit Hilfe vorzüglicher Apparate unternahm Reich im Jahre 1837 die Lösung derselben Aufgabe und gelangte zu dem Werthe 5,44[2], welcher späterhin nach einer verbesserten Methode neu berechnet und auf 5,49 erhöht wurde. Im Jahre 1843 publicirte

[1] C. F. Naumann, l. c. Bd. I, S. 33 f.

[2] F. Reich, Versuche über die mittlere Dichtigkeit der Erde mittelst der Drehwage. Freiberg 1838. S. 66.

Francis Baily die Resultate einer grossen Reihe von Versuchen; er erhielt, gestützt auf mehr als 2000 Beobachtungen, für die mittlere Dichtigkeit der Erde die Ziffer 5,66. Reich erneuerte in den Jahren 1847 bis 1850 seine Messungen, nachdem er einige Verbesserungen an seinen Instrumenten angebracht hatte, und ermittelte nun den Werth 5,5832 mit dem wahrscheinlichen Fehler 0,0149 [1]). In neuerer Zeit haben A. Cornu und J. Baille noch einmal mit der Drehwage diese Bestimmung wiederholt. Sie erhielten im Sommer 1872 die Ziffer 5,56 und im Winter 1872/73 5,50 [2]). Die annähernde Uebereinstimmung aller dieser Zahlen zeigt, wie exact und vertrauenswerth die letztgenannte der drei Methoden ist. Wir werden sicher wenig irren, wenn wir die runde Zahl 5,6 als Durchschnittswerth für die mittlere Dichtigkeit der Erde betrachten; es ist dies übrigens dieselbe Ziffer, welche den astronomischen Berechnungen der Planetendichtigkeiten zu Grunde liegt.

Das specifische Gewicht der Erde ist somit grösser als das des Magneteisenerzes (4,9 bis 5,2), um weniges kleiner als das des gediegenen Arsen, aber beträchtlich geringer als das des Eisens (7,2) und Zinns (7,3). Auffallend ist hierbei, dass die oberen Theile der Erdrinde durchschnittlich ein specifisches Gewicht von nur 2,5 haben; diese Zahl ist sogar fast noch um die Hälfte zu vermindern, wenn man die mittlere Dichtigkeit der gesammten oberen Schichten des Planeten sowohl unter der trockenen, wie unter der oceanischen Oberfläche bezeichnen will. Die Dichtigkeit der Erde ist demnach keine gleichförmige, sondern nimmt im allgemeinen von der Oberfläche aus mit wachsender Tiefe zu. Jedenfalls besteht der Erdkörper aus concentrischen Schichten, deren Dichte in gleichem Abstand vom Erdmittelpunkte dieselbe ist, nach dem Erdinnern hin aber sich beständig vergrössert. Nach welchem Gesetze dies geschieht, lässt sich bis jetzt mit keinerlei Sicherheit angeben; wahrscheinlich ist nur, dass die Dichtigkeit des Erdkernes dem Werthe 10 (die Dichtigkeit des Wassers gleich 1 gesetzt) nahe kommt oder ihn wohl gar überschreitet und dass die Dichtigkeitsabnahme an der Oberfläche viel rascher erfolgt als in den Tiefen des Erdballes. Die bisher aufgestellten Formeln, in welchen dieser Verminderung der Dichtigkeit nach aussen ein streng mathematischer Ausdruck verliehen ist, gehören also in den Bereich der Hypothesen. Die qualitative Verschiedenheit der Bestand-

[1]) F. Reich in einem Aufsatze „Neue Versuche mit der Drehwage" in den Abhandlungen der mathem.-physik. Classe der Kgl. Sächs. Gesellschaft d. W. Bd. I (1852), S. 383—430.

[2]) Détermination nouvelle de la constante de l'attraction et de la densité moyenne de la terre in den Comptes rendus, tome LXXVI (1873), p. 954 – 958.

theile unseres Planeten im Innern, die Steigerung der Temperatur nach dem Erdmittelpunkte zu, der mit der Tiefe bis zu vielen Zehntausenden von Atmosphären zunehmende Druck, mit welchem sicher eine Erhöhung des Schmelzpunktes verknüpft ist, die Veränderung des Aggregatzustandes im Erdinnern: dies alles sind Gegenstände, von welchen die Dichtigkeitszunahme nach unten abhängig ist, zu deren Erforschung uns jedoch die directe Beobachtung nur einen äusserst geringen Anhalt gewährt. Es dürften daher noch lange Zeiträume vergehen, ehe das Problem von der gesetzmässigen Zunahme der Dichtigkeit des Erdkörpers mit der Tiefe in befriedigender Weise gelöst werden kann.

III. Die Eigenwärme der Erde.

An den täglichen und jährlichen Temperaturschwankungen, welche sich in unserer Atmosphäre vollziehen, nimmt auch die Erdoberfläche theil. Allein schon in geringer Tiefe treten dieselben weniger stark hervor, was durch die bekannte Thatsache bestätigt wird, dass Kellerräume im Winter verhältnissmässig warm, im Sommer hingegen kühl bleiben. Nach den Beobachtungen von Quetelet[1]) sind die täglichen Wärmevariationen in Brüssel schon in der Tiefe von 1,23 Meter nicht mehr bemerkbar. Der Unterschied zwischen Sommer- und Wintertemperatur macht sich natürlich noch in grösserer Tiefe geltend; doch wird auch er um so kleiner, je tiefer man hinabsteigt. Endlich erreicht man eine Tiefe, in welcher man jahraus jahrein dieselbe Temperatur, nämlich die mittlere Jahrestemperatur der darüber liegenden Oberfläche vorfindet: die sogenannte invariable Erdschicht.

In der Breite von Paris (48° 50′) werden herkömmlich die Tiefe und Temperatur der Caves de l'Observatoire (28 Meter und 11,82° C.) für Tiefe und Temperatur der invariablen Erdschicht gehalten. Im Jahre 1783 wurde hier durch Cassini und Legentil ein von Lavoisier construirtes, sehr genaues Quecksilberthermometer aufgestellt, welches noch Hunderttheile von Graden abzulesen gestattet; dasselbe zeigt, wenn man von einigen äusserst geringfügigen, vielleicht durch Verschiebung der Skala herbeigeführten Schwankungen absieht, seit einem Jahrhundert ununterbrochen die Temperatur 11,82° C. Da diese Ziffer die mittlere Jahreswärme von Paris (10,822° C.) um 1° C. übertrifft, so hat Bravais mit Recht vermuthet, dass das Thermometer in den Caves de l'Observatoire schon unter der Grenze der invariablen Schicht stehe.

Die Tiefe, in welcher die jährlichen Temperaturschwankungen aufhören, ist nicht für alle Gegenden der Erde dieselbe. Sie ist viel-

[1]) Bulletin de l'Acad. de Bruxelles. 1836. p. 75.

mehr abhängig von der Leitungsfähigkeit des Bodens, vor allen Dingen aber von der Grösse des Temperaturunterschiedes zwischen der heissesten und kältesten Jahreszeit; doch liegt sie wahrscheinlich nirgends tiefer als 30 Meter und nirgends weniger tief als $^1/_3$ bis $^2/_3$ Meter unter der Oberfläche.

Wäre die Temperatur irgendwo zu allen Jahreszeiten dieselbe, so würde offenbar die invariable Erdschicht bereits an der Erdoberfläche beginnen. Ist die Temperatur eines Ortes nur unbedeutenden Schwankungen unterworfen, so sind diese schon in geringen Tiefen kaum noch bemerkbar. Je schärfer aber der Gegensatz der jährlichen Wärmemaxima und -Minima ist, um so tiefer dringen auch die Wärmevariationen in die Erde ein. Daher befindet sich die invariable Erdschicht in Ländern mit excessiven Temperaturen tiefer als in solchen, die ein gleichmässiges Klima besitzen, in den Aequatorialgegenden aber, wo die Extreme der jährlichen Temperaturen sehr wenig von einander abweichen, der Oberfläche weit näher als in unseren Breiten, wo diese Gegensätze meist sehr beträchtlich sind. Nach Boussingault's Beobachtungen liegt sie in der Tropengegend und zwar bis 10° nördlich und südlich vom Aequator in einer Tiefe von nur $^1/_3$ Meter, weshalb er meint, man könne dort die mittlere Jahrestemperatur eines Ortes einfach durch die Beobachtung eines Thermometers ermitteln, welches 22 bis 32 Centimeter tief in einen bedeckten, vor Insolation vollständig geschützten Raum eingegraben ist[1]). Viele solche thermometrische Sonden, wie sie A. v. Humboldt treffend nennt[2]), zu verschiedenen Tageszeiten, an verschiedenen Tagen, ja in verschiedenen Monaten unternommen, ergaben immer fast genau dieselben Resultate, mochten sie selbst an den heissen Ufern der Südsee in Guayaquil oder am Abhang des Vulcans von Puracé in mehr als 2600 Meter Meereshöhe angestellt werden, obgleich die mittlere Jahrestemperatur des ersten Beobachtungsortes von der des zweiten um 14° C. abweicht[3]). Indessen widersprechen die von Caldecott und Newbold in Ostindien, sowie von Junghuhn auf Java gemachten Erfahrungen den Boussingault'schen Angaben. So fordert Junghuhn[4]) für Java, dass das Thermometer $^2/_3$ bis 1 Meter tief in die

[1]) Dieses Verfahren wurde übrigens schon von Torbern Bergmann empfohlen. Vgl. dessen Physikalische Geographie. 3. Aufl. Greifswald 1791. Bd. II, S. 119.

[2]) Kosmos. Bd. IV, S. 40.

[3]) Boussingault: Sur la profondeur à laquelle on trouve dans la zone torride la couche de température invariable in den Annales de Chimie et de Physique, tome LIII (1833), p. 225—247.

[4]) Franz Junghuhn, Java, seine Gestalt, Pflanzendecke und innere Bauart (übersetzt von J. K. Hasskarl). Leipzig 1852—1854. Bd. II, S. 771.

Erde gesenkt und der Raum ebenfalls wohl verdeckt sein müsse, wenn das Thermometer constante Temperaturen zeigen soll. In $^1/_3$ Meter Tiefe erleide der Stand des Quecksilbers noch bedeutende Schwankungen.

Daraus, dass sich die invariable Schicht in der Tropenzone wenig tief unter der Erdoberfläche befindet, erklärt sich der grosse Uebelstand, dass die Wasser dort zu jeder Jahreszeit eine Temperatur von 20 bis 22° C. haben und somit kaum Erfrischung bieten können. Die gegentheilige Wirkung beobachtet man auf Island, wo in Folge der geringen Differenz zwischen Sommer- und Wintertemperaturen die invariable Schicht ebenfalls nahe der Erdoberfläche liegt. Hier ergiessen die Quellen das eisige Jahresmittel auch während des relativ warmen Sommers über die Fluren als ein Fluch für die Vegetation. Während man bei uns nicht selten die Aecker berieselt, schützt man sie in Island durch Ableitungsgräben vor dem vernichtenden Einfluss der Quellwasser[1]).

Da nun, wo die mittlere Jahrestemperatur unter dem Nullpunkt steht, wird man schon in geringen Tiefen auf eine Schicht stossen, die immer gefroren bleibt: auf den unterirdischen Eisboden.

Bereits in der Mitte des vorigen Jahrhunderts machte Gmelin[2]) darauf aufmerksam, dass in Ostsibirien kaum einen Meter tief unter der Oberfläche der Boden selbst im Sommer nie aufthaue; doch schenkte man seinen Mittheilungen hierüber keinen Glauben. Noch im Anfang unseres Jahrhunderts stand diese Nachricht so vereinzelt da, dass man sie für ein Märchen erklärte, und Leopold v. Buch schreibt im Jahre 1825: „Sie sollte nicht mehr in physischen Lehrbüchern wiederholt werden“[3]). Seit jener Zeit ist nicht nur die Existenz des Eisbodens an zahlreichen arktischen Orten bestätigt worden, sondern man kennt auch ziemlich genau die Aequatorialgrenze desselben. Diese nimmt etwa folgenden Verlauf[4]):

Sie führt von der Tanamündung (Finmarken, $70^1/_2$° n. Br.) nach Kandalakscha (67°, somit liegt die Halbinsel Kola ganz im Gebiete des Eisbodens), erscheint jenseits des weissen Meeres genau westlich von dem Orte Mesén (66°), überschreitet den Ural unter 62° n. Br., nähert sich Tobolsk von Nord her bis auf 10 g. Meilen, geht südlich von Tomsk vorüber (56°), durchkreuzt nördlich von dem Austritt der

[1]) Dove in den Physikalischen Abhandlungen der Kgl. Akademie d. W. zu Berlin aus d. J. 1844. Berlin 1846. S. 368.

[2]) Reise durch Sibirien. Göttingen 1752. Bd. II, S. 521 ff.

[3]) Physikalische Abhandlungen der Kgl. Akademie d. W. zu Berlin aus d. J. 1825, S. 95.

[4]) Vgl. H. Fritz's Circumpolarkarte in Petermann's Mittheilungen 1874, Tafel 18.

Oberen Tunguska den Baikalsee (53°), fällt zwischen 130 und 140° ö. L. v. F. nahezu mit dem 50. Parallelkreis zusammen und verlässt nördlich von der Amurmündung (54°) den asiatischen Continent. Kamtschatka wird etwa unter 58° nördlicher Breite von ihr durchschnitten. In Nordamerika beginnt die Eisbodengrenze am Norton-Sund (unter 64° nördl. Br.), läuft südlich von Ft. Simpson vorüber, berührt das Nordende des Winipeg-Sees (54°), sowie das Südende der Hudsonsbay (51°) und endigt auf der Halbinsel Labrador zwischen Nain und Hoffnungsthal (56°). Grönland liegt ganz innerhalb des Eisbodengebietes. v. Middendorff's Angaben über die Südgrenzen des arktischen Eisbodens [1]) sind somit nicht mehr zutreffend, insbesondere auch darin nicht, dass er der nördlichen Spitze des europäischen Continents grössere zusammenhängende Gebiete von Eisboden abspricht. So fanden Hermann und Karl Aubel in der Nähe von Kandalakscha (an dem Nordwestende des weissen Meeres) kurz nach dem höchsten Sonnenstande und an einem warmen, ja heissen Tage kaum 1 Meter unter dem Moose mächtige Eismassen, „die offenbar als immerwährende angesehen werden müssen.“ Ebenso besitzt die Halbinsel Kanin bis tief in's Erdinnere gefrorene Schichten [2]).

In Asien reicht der Eisboden im Amurgebiete am weitesten nach Süden, nämlich bis zum 50. Grad, in Amerika an der Hudsonsbay, wo das unterirdische Eis noch unter dem 51. Breitengrade beobachtet wurde.

Ohne Zweifel ist die Temperatur des Luftkreises vor allem entscheidend für den Verlauf der Aequatorialgrenze des Eisbodens, da diese fast überall mit der Isotherme von 0° C. zusammenfällt. Dass sich beide Linien hie und da ein wenig von einander trennen, darf uns nicht Wunder nehmen, da das Eindringen der Meteorwasser, das Aufsteigen warmer Quellen aus der Tiefe und die verschiedene wärmeleitende Kraft des Bodens sicher, wenn auch nur als nebensächliche Factoren, auf den Gang der Eisbodengrenze ihre Wirkung geltend machen.

Uebrigens darf man nicht glauben, dass das Südende des Eisbodens die Polargrenze der Vegetation bezeichne, und zwar hat man nicht bloss Moose und Flechten, sowie verkrüppeltes Zwergholz über der Eisschicht angetroffen; selbst dichter, hochstämmiger Wald findet sich in Sibirien sowohl wie in Nordamerika im Gebiet des Eisbodens.

[1]) Vgl. A Th. v. Middendorff, Reise in den äussersten Norden und Osten Sibirien's. St. Petersburg 1848. Bd. I, Theil 1, S. 166. 179. A. v. Humboldt, Kosmos. Bd. IV, S. 46 f. 169.

[2]) Hermann und Karl Aubel, Ein Polarsommer. Reise nach Lappland und Kanin. Leipzig 1874. S. 191. 292.

Die Bäume werden dadurch gegen die Kälte des unterirdischen Eises geschützt, dass ihre Wurzeln wenig in die Tiefe gehen und, wenn sie das Eis erreichen, gerade als ob sie auf festes Gestein träfen, seitwärts fortwachsen [1]). Je tiefer der Boden im Sommer aufthaut, um so günstiger sind natürlich die Bedingungen für die Entwicklung des Pflanzenlebens. Doch ist die Mächtigkeit der aufthauenden Eisschicht nicht immer ausschliesslich von der Sommerwärme abhängig, sondern auch bisweilen von localen Umständen. Auffallend ist in dieser Hinsicht die Thatsache, dass in Sibirien der Getreidebau in der Breite von Jakutsk (62° nördl. Br.) aufhört, während die Polargrenze des Ackerbaues in Nordamerika im Meridian des Mackenzie erst unter dem 65. Grad nördl. Br. zu suchen ist, obwohl die Sommerwärme hier viel geringer ist als an der Lena. Massgebend sind hier die Einwirkungen der gefrorenen Erdschichten, die in dem lockeren Erdreich Sibirien's viel mehr von Bodeneis erfüllt sind als am Mackenzie, wo die anstehenden granitischen Massen die Bildung von Bodeneis beschränken. Weil nun dasselbe in Sibirien in grösserer Menge vorhanden und zugleich weiter unter den Gefrierpunkt abgekühlt ist, so vermag es hier die Sommerwärme weniger tief aufzuthauen. In der That erreicht die vom Eis befreite Schicht bei Jakutsk nur eine Tiefe von 1 Meter, am Mackenzie unter gleicher Polhöhe hingegen eine solche von $3^1/_2$ Meter. Somit muss die Bodenwärme, soweit die Wurzeln des Getreides ihr ausgesetzt sind, am Mackenzie weit beträchtlicher sein, weshalb hier naturgemäss die Polargrenze des Getreidebaues tiefer in die arktischen Gebiete eindringt [2]).

Oft ist der Boden bis zu einer ansehnlichen Tiefe hinab gefroren, wie sich dies namentlich bei der Anlegung des berühmten Scherginschachtes zeigte. Fedor Schergin, ein patriotischer Bürger in Jakutsk, begann daselbst im Jahre 1828 mit dem Bau eines Brunnens und hoffte, in einer Tiefe von 9 Metern, d. h. unter dem niedrigsten Niveau der Lena, Wasser zu finden. Im Jahre 1831 war die Grube bereits bis auf 32 Meter vertieft. Da er aber immer nur auf gefrorenes Erdreich traf, so würde er die Arbeit aufgegeben haben, wenn nicht Admiral Wrangel auf seiner Durchreise nach Sitcha ihn dazu aufgefordert hätte, den Bau im Interesse der Wissenschaft weiter zu führen. So gelangte man denn im Jahre 1837 bis zu einer Tiefe von 382 engl. Fuss ($116^1/_2$ Meter) hinab. Da auch hier das Bodeneis noch nicht wich, so gab man die Hoffnung auf Erreichung des Zieles auf und stellte die Arbeit ein, wobei man zugleich die Grube sorgfältig verdeckte. Erst 1844 wurde sie von A. Th. v. Middendorff im Auftrage der

[1]) A. Grisebach, Die Vegetation der Erde. Leipzig 1872. Bd. II, S. 238 f.

[2]) A. Grisebach, l. c. Bd. II, S. 241.

Petersburger Akademie wieder geöffnet und zu regelmässigen Temperaturbeobachtungen eingerichtet [1]). v. Middendorff, vom April 1844 bis Juni 1846 mit den Temperaturmessungen beschäftigt, fand schon in einer Tiefe von c. 20 engl. Fuss (6 Meter) die mittlere Jahreswärme von Jakutsk (— 10,15° C.). An dem Boden des Brunnens (in 382 engl. Fuss oder $116^1/_2$ Meter Tiefe) war die Temperatur erst auf — 3° C. gestiegen. Demnach betrug die allgemeine Wärmezunahme auf 50,6 engl. Fuss (15,4 Meter) 1° C. Die untere Grenze des gefrorenen Erdreichs liegt nach v. Middendorff in einer Tiefe von 612 bis 642 engl. Fuss (186,5 bis 195,7 Meter) [2]); in solcher Tiefe würde man also erst die mit Wasser getränkte Erdschicht erreicht haben. Indessen beansprucht diese Rechnung keine Genauigkeit, da ohne Zweifel mehrfache störende Einflüsse hier mit im Spiele waren; namentlich sind die Beobachtungen durch die in den Gruben niedersinkende kalte Winterluft fehlerhaft geworden [3]).

Wir gehen nun dazu über, die Grösse der geothermischen Tiefenstufen zu ermitteln, d. h. diejenigen Tiefen, mit welcher die Temperatur des Erdinnern, von der unveränderlichen Wärmeschicht angefangen, um 1° C. zunimmt. Vorher aber müssen wir noch gewisse Anomalien erwähnen, welche bei Messungen auf unebenem Terrain in Betracht kommen.

Im allgemeinen sind die Tiefenstufen in verticaler Richtung abzumessen; indessen würde dies nur auf ebenem Terrain zu richtigem Resultate führen; für ein stark bewegtes Relief ist ein anderes Verfahren zu fordern.

In der Atmosphäre findet nämlich eine ähnliche Abnahme der Temperatur von unten nach oben statt wie in der Erdkruste; nur besteht zwischen beiden der Unterschied, dass sie im ersten Falle fünf- bis sechsmal so langsam erfolgt als im zweiten, d. h. die aërothermischen Höhenstufen sind fünf- bis sechsmal so gross als die geothermischen Tiefenstufen. Nun hängt die Mitteltemperatur der äusseren Erdschichten im wesentlichen von der mittleren Lufttemperatur ab; es richtet sich also die Temperatur der höheren Theile eines Berges nach

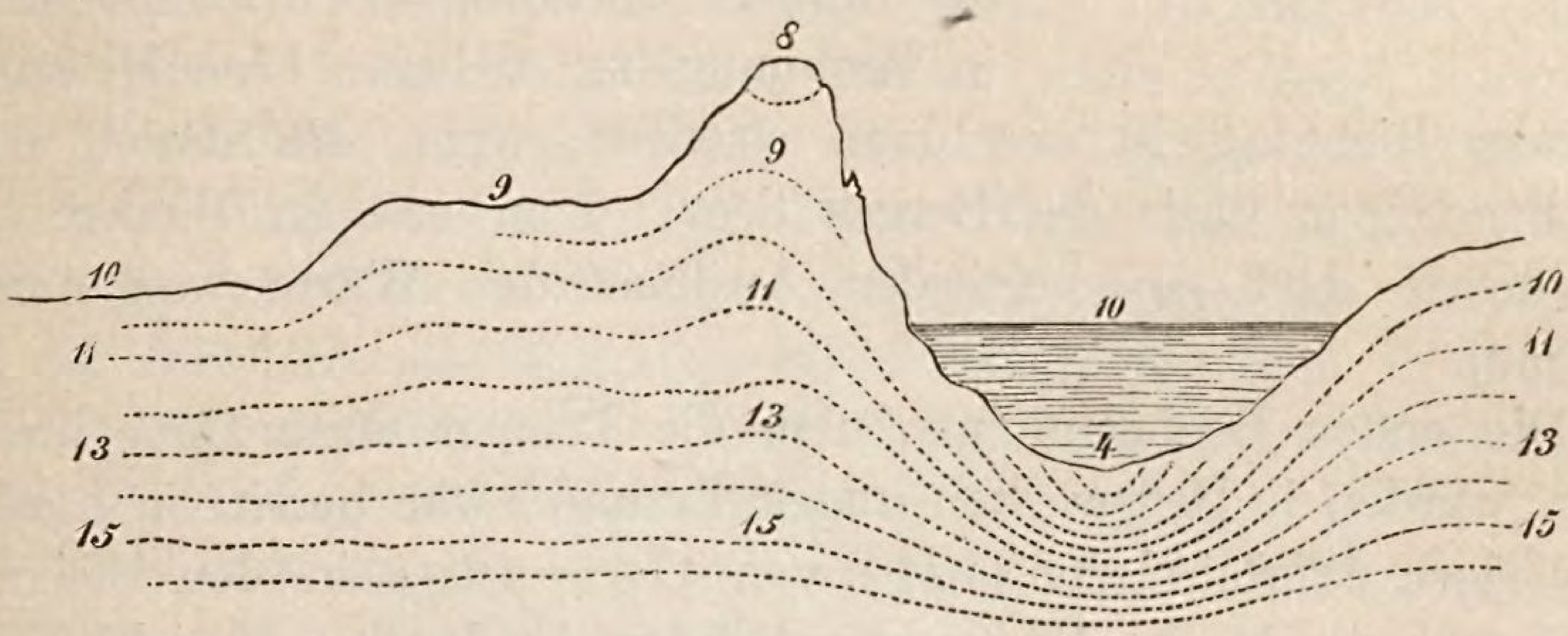
[1]) A. Th. v. Middendorff, l. c. Bd. I, Theil 1, S. 92 ff.

[2]) Es musste bei Berechnung dieser Tiefe mit in Betracht gezogen werden, dass die geothermischen Stufen nach unten wachsen. Vgl. hierzu S. 197 ff.

[3]) Auf dem Boden des Schachtes fand Schergin im Jahre 1837 die Temperatur — 0,6° C. Als ihn v. Middendorff im Februar 1844 wieder öffnete, musste am Boden eine Eismasse von etwa $4^1/_5$ Cubikmeter herausgearbeitet werden, und dann zeigte das Thermometer eine Temperatur von — 3° C. Poggendorff's Annalen, Bd. XLIII (1838), S. 191 und Bd. LXII (1844), S. 404 ff.

den aërothermischen Höhenstufen. Weil aber innerhalb einer solchen Stufe 5—6 geothermische Stufen liegen, so müssen zwar die Chthonisothermen (Linien in der Erde, welche Punkte mit derselben Temperatur verbinden,) nothwendig innerhalb des Berges in die Höhe steigen, doch in weit geringerem Masse als die Abhänge des Berges selbst (Fig. 23). Erfahren sonach die Chthonisothermen in Bergen eine den äusseren Umrissen des Bodens entsprechende convexe Wölbung, so ist das Umgekehrte, ihre Umbiegung zu concaven Linien, unter dem Grunde der Seen zu erwarten. Da das reine Süsswasser bei 4° C. sein Dichtig-

Fig. 23.



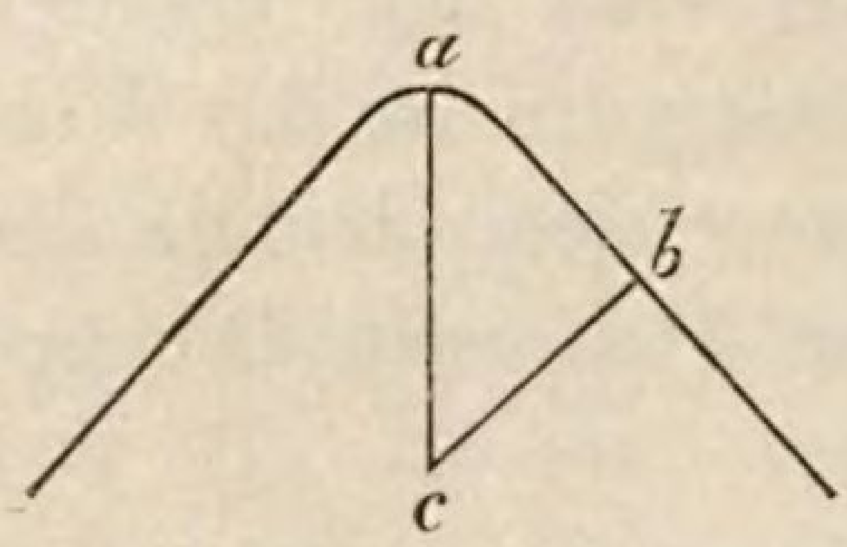
keitsmaximum zeigt, so ist dies die fast constante Temperatur in der Tiefe grösserer Süsswasseransammlungen und zwar sowohl die des Wassers wie des Bodens, auf welchem es sich ausbreitet. Indess werden dem abgekühlten Seegrunde von unten wie von der Seite her neue Wärmemengen zugeführt. Hier begegnen wir also einer relativ beschleunigten Temperatursteigerung nach unten; somit drängen sich auch die Chthonisothermen dichter zusammen und sind deshalb schwächer gekrümmt als die Wandungen des Seegrundes.

Da die Wärmezunahme in den Tiefen der Gebirge langsamer erfolgt als unter der Oberfläche der Ebenen, unter See- und Meeresbecken aber rascher, so müssen, wie Fig. 23 deutlich zeigt, die convexen und concaven Ausbiegungen der Chthonisothermen nach unten zu mehr und mehr verschwinden, und in einer gewissen Tiefe werden diese Linien, wenn man von anderen störenden Einflüssen, z. B. der ungleichen Leitungsfähigkeit der Felsarten absieht, der Oberfläche des Erdsphäroids völlig parallel laufen.

Aus den obigen Betrachtungen geht hervor, dass ansehnliche Fehler entstehen würden, wenn man, wie auf horizontaler Ebene, auch auf grossen, geneigten Flächen oder an den Abhängen hoher Berge die Tiefenstufen ohne weiteres in verticaler Richtung abmessen wollte. Hier hat man nicht der Lothlinie zu folgen, sondern einer Normalen

auf der Terrainböschung, also nicht der Linie *ac* (Fig. 24), sondern *bc*; denn in dieser Richtung wird hier die Wärme ausgeleitet, während dies erst in grösseren Tiefen auch unter solchem Bergesabhange in verticaler Richtung geschieht. Somit muss in Gebirgen und auf hohen Einzelbergen jede unterirdische Station mit demjenigen Punkte in Beziehung gebracht werden, wo die auf die nächste Böschung gezogene Normale ausmündet, wofür wir auch sagen können: die Tiefe ist rechtwinklig gegen die mittlere Richtung der Bodenoberfläche in Rechnung zu ziehen. Eine Messung in verticaler Richtung ist erst dann statthaft, wenn die Station unter der allgemeinen Basis des Berges liegt; denn erst für Punkte unterhalb dieser darf ein verticaler Ausfluss der Wärme angenommen werden[1]).

Fig. 24.



Die ersten Beobachtungen über die Temperaturzunahme im Erdinnern wurden in Bergwerken angestellt und zwar bereits in der Mitte des vorigen Jahrhunderts (1740 von Gensanne in den Bleigruben von Giromagny in den Vogesen). Seitdem ist durch zahlreiche Temperaturmessungen in den Schächten der verschiedensten Länder ein reiches statistisches Material zu Tage gefördert worden, und zwar beziehen sich diese Messungen auf die Temperatur theils der Grubenluft, theils des Grubenwassers, theils des Grubengesteins[2]).

Die Temperaturen der Grubenluft gewähren freilich kein genaues Mass der eigentlichen, ursprünglichen Temperaturzunahme, da durch die Ausstrahlung des menschlichen Körpers, durch die Grubenlichter, durch Pulverexplosionen, wie durch Arbeit überhaupt die Grube erwärmt wird, während der unvermeidliche, wie unentbehrliche Luftzug (Wetterwechsel) bald einen erwärmenden, bald einen erkaltenden Einfluss geltend macht. Der Luftzutritt von aussen kann die Temperatur sogar so sehr verändern, dass statt der erwarteten Temperaturzunahme nach dem Erdinnern eine Abnahme zu bemerken ist. Namentlich ist dies der Fall, wenn jener Zutritt nur von oben durch gedeckte Verbindungswege gegeben ist; es dringt dann zwar im Winter die kalte, dichte Luft ein, aber nicht im Sommer die warme, dünnere,

[1]) C. F. Naumann, Lehrbuch der Geognosie. 2. Aufl. Leipzig 1858. Bd. I, S. 51. 52. B. Studer, Lehrbuch der physikalischen Geographie und Geologie. Bern 1847. Cap. II, S. 39—41. Poggendorff in Poggendorff's Annalen, Bd. XXXVIII (1836), S. 600 f.

[2]) Ernst Erhard Schmid, Lehrbuch der Meteorologie. Leipzig 1860. S. 84 ff.

wodurch ein tief liegender Raum beständig eine dem Gefrierpunkt nahe Temperatur erhalten kann.

Auch aus der Temperatur der Grubenwässer lässt sich mit keinerlei Sicherheit die Wärmezunahme nach dem Erdinnern ableiten, da sie bald von oben, bald von unten her kommen und ihre Temperatur somit in vielen Fällen nicht derjenigen des Beobachtungsortes entspricht. Namentlich ist ihr Wärmegrad von vielerlei Zufällen abhängig, wenn dieselben aus niedergesunkenen Tagewässern bestehen. Das in einem nicht überfliessenden Bohrloch sich befindende Wasser vollzieht ferner eine Circulation und zwar in derselben Weise wie dasjenige, welches in einem Gefässe erwärmt wird. Das specifisch leichtere wärmere Wasser steigt in die Höhe, während dafür kälteres, schwereres Wasser herabsinkt. Daraus folgt, dass die Temperatur nicht überfliessenden Grubenwassers in den oberen Tiefen gewöhnlich höher ist als die des benachbarten Gesteins, dagegen geringer als diese in der Nähe der Bohrlochsohle und dass dieser Fehler mit dem Unterschiede zwischen ursprünglicher unterer und oberer Wärme des Wassers, also mit der Tiefe eines Bohrloches wächst[1]).

Die zweckmässigste und sicherste Methode ist ohne Zweifel die, welche direct auf Ermittelung der Temperatur des Gesteins selbst gerichtet ist. Zu derartigen Temperaturmessungen werden Bohrlöcher rechtwinklig und möglichst tief in die Gesteinswand geschlagen und die Thermometer in sie eingesenkt. Die am Ende der Thermometerröhre befindliche Skala bleibt immer ausserhalb des Gesteins; der Stand der Instrumente kann daher jederzeit ohne Verrückung derselben abgelesen werden. Dabei ist sorgfältig darauf Bedacht zu nehmen, dass sie vor allen störenden Einflüssen geschützt sind. Durch besondere Vorrichtungen sind, wie dies Dunker zuerst in Sperenberg gethan hat, in den Bohrlöchern kurze Wassersäulen abzuschliessen, damit nicht die oben bereits erwähnte Circulation eintreten kann. Wird ferner unmittelbar nach einer Bohrarbeit gemessen, so erhält man eine zu hohe Temperatur; denn der Bohrer erhitzt sich während der Thätigkeit und zugleich das Gestein wie das Grubenwasser in diesem. Insbesondere geschieht dies, wenn in einem weiten, tiefen Bohrloche längere Zeit energisch mit Dampfkraft gebohrt worden ist. In solchem Falle reicht, wie die Erfahrung lehrt, auch die Arbeitsruhe während des Sonntags nicht aus, um dem in der Nähe der Bohrvorrichtungen sich befindenden Grubenwasser den Theil der Wärme

[1]) E. Dunker: Ueber die Benutzung tiefer Bohrlöcher zur Ermittelung der Temperatur des Erdkörpers und die deshalb in dem Bohrloche I zu Sperenberg auf Steinsalz angestellten Beobachtungen in der Zeitschrift für die gesammten Naturwissenschaften. Bd. VI (neue Folge, ersch. 1872), S. 339.

zu entziehen, den es durch die Bohrarbeit erhalten hat. Doch darf man nach Herstellung des Bohrloches auch nicht zu lange mit Vornahme der Beobachtungen säumen, da im Laufe der Zeit die Temperatur der Grubenluft sich ändert, was zugleich grössere oder geringere Schwankungen in der Temperatur des Gesteins nach sich zieht. Glücklicher Weise dringen derartige Wirkungen nur langsam in die Wandungen der Gruben ein, wie denn Reich's Beobachtungen[1]) gelehrt haben, dass ein 40 Dresdner Zoll (108 Centimeter) tief eingesenktes Thermometer während einer in 44 Stunden allmählich bewirkten Erhöhung der Lufttemperatur um 0,65° C. nur um 0,04 bis 0,06° C. stieg. In längeren Zeiträumen ist jedoch der Temperaturwechsel innerhalb des Gesteins durchaus nicht so unwesentlich. So betrug z. B. nach Lupton[2]) in der Kohlengrube von Bucknall (Nottinghamshire) die Temperatur der Kohle im Augenblick der Eröffnung des Schachts 21,11° C. Zehn Monate später bohrte man ein Loch von 60 Centimeter Tiefe in die Wandung einer Galerie, durch welche ein Luftstrom gezogen war, und man fand nur noch 15,27° C. Aehnliche Resultate ergaben sich auch durch Beobachtungen in anderen Schächten. Zur Fernhaltung fremdartiger Einflüsse ist das Bohrloch sofort nach seiner Vollendung und nach Einsenkung des Thermometers sorgfältig zu verstopfen. Wir fügen noch hinzu, dass es selbst bei Anwendung aller nur denkbaren Vorsichtsmassregeln nicht möglich ist, absolut constante Temperaturen zu erhalten, und zwar haben die Beobachtungen in Sachsen[3]) und in Preussen[4]), wie in Cornwall und Devonshire gelehrt, dass die erkaltenden Einflüsse die erwärmenden überwiegen.

Leider vermag der Mensch nur in relativ geringe Tiefen hinabzusteigen; kaum ist es ihm gelungen, wenn wir uns eines schon oft gebrauchten Bildes bedienen dürfen, die Haut des Erdkörpers zu durchbohren. Denn welche Tiefen haben wohl unsere ansehnlichsten Schächte? Einige Gruben bei Freiberg erreichen 550 bis 580 Meter Tiefe und darüber; die Grube Samson bei Andreasberg ist 670 Meter tief; bei Kitzbüchl in Tirol ist man bis zu 947 und bei Kuttenberg in Böhmen bis zu 1151,6 Meter Tiefe unter der Erdoberfläche eingedrungen[5]). Selbst das tiefste Bohrloch, welches bisher irgendwo niedergebracht worden ist, den mächtigen Steinsalzlagern zu Speren-

[1]) F. Reich, Beobachtungen über die Temperatur des Gesteins in verschiedenen Tiefen in den Gruben des sächsischen Erzgebirges in den Jahren 1830 bis 1832. Freiberg 1834. S. 9.

[2]) Ausland 1869, S. 1004.

[3]) F. Reich, l. c. S. 127.

[4]) Poggendorff's Annalen, Bd. XXII (1831), S. 527.

[5]) Naumann, l. c. Bd. I, Nota 1 zu S. 43.

berg (Reg.-Bez. Potsdam, Kreis Teltow) angehörend, hat nur eine Tiefe von 1272 Metern [1]). Derartige Gruben erscheinen auf dem grossen Erdkörper so geringfügig wie eine mit Hilfe einer Stecknadel ausgeführte Vertiefung von $^1/_5$ Millimeter Länge auf einem Globus, dessen Durchmesser einen Meter beträgt. Trotzdem bemerken wir in den uns zugänglichen Erdschichten bereits eine bedeutende Temperaturzunahme.

Die geothermische Tiefenstufe (s. S. 188) findet man, indem man, an der oberen Grenze der invariablen Schicht beginnend, die erbohrte Tiefe durch die Differenz der an beiden Enden beobachteten Temperaturgrade dividirt. Kann die Rechnung keinen Anspruch auf Genauigkeit erheben, so benützt man wohl auch die Gesammtlänge des Bohrloches, wobei man als Temperatur an der Mündung desselben die mittlere Jahrestemperatur des betreffenden Ortes annimmt. In beiden Fällen setzt man voraus, was wenigstens für die uns gewöhnlich erreichbaren Tiefen zulässig ist, dass die Temperatur gleichmässig mit der Tiefe, also in arithmetischer Progression wächst.

Die Temperaturbeobachtungen in Gruben haben Resultate geliefert, die weit von einander abweichen. Es durfte dies auch kaum anders erwartet werden, da selbst bei grösster Umsicht nicht alle der oben erwähnten störenden Einflüsse ferngehalten werden können. Oldham bestimmte die Tiefenstufe in der Grafschaft Waterford (Irland) = $53^1/_2$ Meter für 1° C [2]). In Preussen ist die Grösse der Tiefenstufe für 1° C. Temperaturzunahme in den einzelnen Landestheilen ausserordentlich verschieden; sie schwankt zwischen den Extremen $15^1/_2$ und $115^1/_3$ Meter und beträgt im Mittel $54^1/_4$ Meter [3]). Nach Reich ist die Temperaturzunahme in den Gruben des sächsischen Erzgebirges durchschnittlich 1° C. auf 41,84 Meter [4]). In dem Bohrloche von Sperenberg findet sich nach Dunker's Beobachtungen 1269 Meter unter der Erdoberfläche eine Temperatur von 48° C. [5]); somit ergiebt sich, wenn wir als mittlere Jahreswärme von Sperenberg 9° C. und als Tiefe der invariablen Schicht 27 Meter in Rechnung bringen, eine geothermische Tiefenstufe von 31,8 Metern.

Von besonderem Interesse sind die Temperaturbeobachtungen, welche bei dem Bau des Mont-Cenis-Tunnels gemacht wurden. Da derselbe in seinem mittleren Theile 1369 Meter über dem Meeresspiegel liegt, während das Observatorium auf der Frejusspitze darüber

[1]) H. v. Dechen: Die nutzbaren Mineralien und Gebirgsarten im deutschen Reiche. Berlin 1873. S. 691.

[2]) C. F. Naumann, l. c. Bd. I, S. 47.

[3]) C. F. Naumann, l. c. Bd. I, S. 46.

[4]) F. Reich, l. c. S. 131. 134.

[5]) Dunker, l. c. S. 337.

eine Höhe von 3143 Metern besitzt, so befindet man sich im Tunnel 1774 Meter unter der Erdoberfläche, demnach tiefer, als dies gegenwärtig irgendwo anders möglich ist, wobei man zugleich c. 6000 Meter oder $^3/_4$ geogr. Meile vom Ausgangspunkt des Tunnels entfernt ist. Doch muss jene Tiefenschicht in unserer Berechnung etwas verkürzt werden, weil die auf die nächstliegende Böschung des Berges gezogene Normale (vgl. S. 189 f.), welche in einer Meereshöhe von ungefähr 2670 Metern ausmündet, nur eine Länge von 1625 Metern hat; diese Ziffer bezeichnet die in Betracht kommende Tiefe [1]). Was die Temperatur der Felsen im Innern des Tunnels betrifft, so sind leider die Beobachtungen auf der französischen Seite wenig vertrauenswürdig, auf italienischer Seite zwar besser, aber nicht immer durch Maximum- und Minimum-Thermometer ausgeführt worden. Es ergab sich für die eigene Wärme der Felsen in der Mitte des Tunnels eine Temperatur von 26,6° C. (21,3° R.). Setzen wir als mittlere Jahrestemperatur in der Höhe von 2670 Metern — 1,4° C. in die Berechnung ein [2]), so erhalten wir für die geothermische Tiefenstufe den Werth $\frac{1625}{28}$ Meter = 58 Meter für 1° C.; demnach ist hier die Wärmezunahme nach der Tiefe eine vergleichsweise sehr geringe.

Nach der entgegengesetzten Seite hin ausserordentlich auffallend ist das durch Beobachtungen in einer Steinkohlengrube bei Monte-Massi in Toscana erlangte Resultat. Der dortige Schacht ist nach Matteucci 342 Meter tief und zeigt in dieser Tiefe die überraschend hohe Temperatur von 39,2° C., während die Mitteltemperatur an der Oberfläche und jedenfalls auch in 25 Meter Tiefe nur 16° C. beträgt. Somit ist die geothermische Tiefenstufe bei Monte-Massi = 13,7 Meter [3]). Dieser Schacht, obgleich nur in tertiärem Gebirge angelegt, findet sich in geringer Entfernung von vulcanischen Spalten, und man darf ver-

[1]) Die genannten Zahlen sind berechnet nach dem Profil im Ausland 1870, S. 1155.

[2]) Directe Beobachtungen fehlen; doch werden wir wenig irren, wenn wir, gestützt auf Weilenmann's sorgfältige Untersuchungen über die Veränderungen der Temperatur in grösserer Meereshöhe und unter verschiedenen Breiten innerhalb der Schweiz (Schweizerische meteorologische Beobachtungen, Jahrg. 1871), die mittlere Jahrestemperatur in der dortigen Gegend bei 0 Meter Meereshöhe = 14° C. und in 2670 Meter Höhe = — 1,4° C. annehmen (nach Weilenmann ist die durchschnittliche Temperaturerniedrigung in der Schweiz für 100 Meter Erhebung = 0,577° C.); die meteorologischen Verhältnisse sind hier ja im allgemeinen dieselben wie in der Schweiz. Vgl. J. Hann in Behm's Geographischem Jahrbuch. Bd. V (1874), S. 10.

[3]) Aus Comptes rendus, tome XVI (1843), p. 937 sq. Poggendorff's Annalen, Bd. LIX (1843), S. 176.

muthen, dass die Nähe eines vulcanischen Heerdes auf die Erhöhung der Temperatur in dem Gestein der Umgegend einen wesentlichen Einfluss ausgeübt hat.

Und doch wird jenes Resultat noch übertroffen von demjenigen, welches die Beobachtungen in dem 339,5 Meter tiefen Bohrloche zu Neuffen (Würtemberg) geliefert haben. Mandelsloh fand hier in 28,6 Meter Tiefe die Temperatur 10,8° C., 1,9 Meter über dem Grunde des Bohrloches aber 38,7° C. Sonach ist hier die geothermische Tiefenstufe für 1° C. = 11,0 Meter, wird also von dem gewöhnlichen Mass derselben um das Dreifache übertroffen. Diese Thatsache zu erklären ist um so schwieriger, als die durchbohrten Schichten der Juraformation angehören und der Bohrpunkt selbst 356 Meter über dem Meeresspiegel liegt. Daubrée meint, dass die dortigen hohen Wärmegrade Nachwirkungen von Basaltdurchbrüchen seien, die einstmals hier stattfanden, während Bischof die Annahme vertritt, dass jene aussergewöhnliche unterirdische Wärme ihren Ursprung mächtigen Quellen verdanke, welche dort aus grosser Tiefe emporsteigen [1]).

Besonders lehrreich ist die Thatsache, dass in den Kohlenbergwerken die Wärmezunahme meist viel schneller erfolgt als in Erzgruben; sie ist im Durchschnitt in den ersteren fast doppelt so gross als in den letzteren. Unverkennbar sind die höheren Temperaturen innerhalb des Steinkohlengebirges eine Folge von chemischen Zersetzungsprocessen, die sich in den aus vorweltlichen Pflanzenmassen bestehenden Kohlenflötzen fort und fort vollziehen. Auch machen sich in Steinkohlenbergwerken die abkühlenden Störungen deshalb verhältnissmässig wenig bemerkbar, weil die Strecken hier am raschesten vorwärts getrieben werden.

Höchst seltsam erschien es anfangs, dass zwei Steinkohlengruben bei Carmeaux (Dep. Tarn), die Gruben von Ravin und Castillan, welche nur 2 Kilometer von einander entfernt sind, wesentliche Unterschiede bezüglich ihrer geothermischen Tiefenstufen darboten (42, resp. 28 Meter für 1° C.) [2]). Cordier erklärte dies daraus, dass die Grube von Ravin in der Streichungslinie eines sehr mächtigen Kupferganges liegt, dessen Leitungsvermögen bedeutender ist als das des umgebenden Gesteins und der somit auch eine höhere Temperatur besitzen muss. Von welcher Wichtigkeit in ähnlichen Fällen die grössere Leitungsfähigkeit der Erzgänge ist, zeigen auch die Beobachtungen in den Gruben von Cornwall, wo die Erzgänge eine um 1° bis 2,8° C.

[1]) C. F. Naumann, l. c. Bd. I, Nota 1 zu S. 48.

[2]) Aus den Mém. de l'acad. roy. des sc. de l'inst. de France. Classe des sc. mathémat. et de phys., tome VII, in Poggendorff's Annalen, Bd. XIII (1828), S. 365 f.

höhere Temperatur aufweisen als erzfreies Gestein, und wiederum ermittelte man in den Kupfergängen eine höhere Temperatur als in den Zinngängen [1]). Hierzu kommt endlich noch, dass die Wärmecapacität und das Wärmeleitungsvermögen der Gesteine selbst verschieden ist. Ihre materielle Beschaffenheit, sowie ihre Structur ist so manigfach, dass sie auch als Wärmebinder und Wärmeleiter nothwendig nicht die nämlichen Wirkungen ausüben können. Dies wird zugleich durch die Erfahrung bestätigt. So fanden Fox und Henwood, dass in den Cornwaller Gruben, welche theils durch Granit, theils durch Schiefer führen, die Wärme in dem Schiefer im allgemeinen nach unten rascher zunahm als im Granit [2]).

Noch besser als Gruben eignen sich artesische Brunnen, insbesondere kurz nach ihrer Anlegung, nachdem alle Verhältnisse in's Gleichgewicht gekommen sind, zur Erforschung der Temperaturverhältnisse in tieferen Erdschichten; denn man kennt nicht bloss jederzeit genau ihre Tiefe, sondern man kann auch von Meter zu Meter die Eigenwärme des aus jeder Schicht hervorbrechenden Wassers messen; diese aber entspricht genau der Temperatur derjenigen Gesteinszone, aus welcher das Wasser sich ergiesst. Freilich ist auch hier der Fehler nicht ganz ausgeschlossen, dass die im Tiefsten erbohrten Quellen relativ kalt oder warm sind. Das erstere wird sich immer dann ereignen, wenn die Wasser aus grösserer oder geringerer Tiefe sehr rasch dem unteren Ende des Bohrloches zuströmen. Auch zeigen die artesischen Brunnen vereinzelt Temperaturschwankungen, welche auf den Eintritt irgend einer Katastrophe in der Tiefe schliessen lassen. So meldeten z. B. die Pariser Zeitungen im Jahre 1866, dass die Temperatur des den artesischen Brunnen von Grenelle und Passy entquellenden Wassers plötzlich von 82° F. (27,8° C.) auf 85° F. (29,4° C.) gestiegen sei [3]).

Im allgemeinen aber liefern die Beobachtungen in artesischen Brunnen recht zuverlässige Resultate; demgemäss differiren auch die hier gefundenen Maxima und Minima der Wärmezunahme nach dem Erdinnern viel weniger als die in Bergwerken ermittelten Werthe, wie dies die nachfolgenden Angaben beweisen.

	Bohrbrunnen v. la Grenelle in Paris.	Bohrbrunnen v. Neusalzwerk in Westphalen.	Bohrbrunnen v. Mondorff im Grossherzogth. Luxemburg.
Tiefe	547 Meter.	696 Meter.	671 Meter.
Temperatur der Quelle	27,70° C.	33,6° C.	34° C.
Zunahme um 1° C.	32,6 Meter.	26,9 Meter.	29,6 Meter.

[1]) Poggendorff's Annalen, Bd. XIII (1828), S. 367.
[2]) Naumann, l. c. Bd. I, S. 49.
[3]) Ausland 1867, S. 48.

Fast gleich gross sind auch die geothermischen Tiefenstufen in den artesischen Brunnen zu Pitzbuhl bei Burg unweit Magdeburg(26 Meter), zu Rouen (29,5 Meter), zu Rüdersdorf bei Berlin (29,9 Meter) und St. André im Dep. Eure (31,0 Meter). Freilich findet sich dieser Grad der Uebereinstimmung nicht überall; so beträgt die Temperatur-Zunahme in einem Bohrbrunnen zu la Rochelle auf 19,7 Meter, zu Artern in Thüringen auf 39,0 Meter 1° C.[1]). Immerhin verhalten sich hier die Extreme der geothermischen Stufen nur wie 1 : 2, nach den Beobachtungen in Schächten hingegen wie 1 : 10. Auch ist es bemerkenswerth, dass die Tiefenstufen in den artesischen Brunnen durchschnittlich kleiner sind als diejenigen, welche in den Schächten gefunden worden sind; denn die Grösse für erstere ist im Mittel = 30, für letztere = 50 Meter.

Wir haben in dem Vorhergehenden die Voraussetzung gelten lassen, dass die Temperatur gleichmässig mit der Tiefe, also nach einer arithmetischen Progression zunimmt, eine Voraussetzung, welche für die uns erreichbaren Tiefen im allgemeinen richtig ist, aber doch bereits unrichtig zu werden beginnt, wenn es sich um sehr grosse Tiefen handelt. Hier ist die Temperaturzunahme meistens eine entschieden verzögerte. So haben die Beobachtungen im Scherginschacht zu folgenden Ergebnissen geführt[2]):

Tiefe.	Temp.	Grösse der geothermischen Stufe für 1° C. in der Tiefe von
20 engl. F. (6,1 Meter)	— 10,15° C.	
50 „ „ (15,2 „)	— 8,26° C.	20—50 engl. F. 15,9 engl. F. (4,8 Meter.)
100 „ „ (30,5 „)	— 6,52° C.	50—100 „ „ 28,7 „ „ (8,7 „)
150 „ „ (45,7 „)	— 5,80° C.	100—150 „ „ 69,4 „ „ (21,2 „)
200 „ „ (61,0 „)	— 4,85° C.	150—200 „ „ 52,6 „ „ (16,0 „)
250 „ „ (76,2 „)	— 4,17° C.	200—250 „ „ 73,5 „ „ (22,4 „)
300 „ „ (91,4 „)	— 3,89° C.	250—300 „ „ 178,6 „ „ (54,4 „)
350 „ „ (106,7 „)	— 3,41° C.	300—350 „ „ 104,2 „ „ (31,8 „)
382 „ „ (116,4 „)	— 3,00° C.	350—382 „ „ 78,0 „ „ (23,8 „)

Allerdings zeigen die Stufen zwischen 100 und 150, 250 und 300, 350 und 382 engl. Fuss Tiefe Anomalien; doch müssen wir auf solche schon von vorn herein gefasst sein, da bei derartigen Messungen störende Einflüsse niemals ganz beseitigt werden können. Speciell für den Scherginschacht wurden dieselben bereits in Nota 3 auf S. 188 angedeutet.

1) Vgl. C. F. Naumann, l. c. Bd. I, S. 42.

2) A. Th. v. Middendorff, l. c. Bd. I, Theil 1, S. 174.

Besser stimmen folgende Temperaturen überein, welche Dunker für das Bohrloch von Sperenberg ermittelte [1]).

Tiefe.	Beob. Temp.	Grösse der geothermischen Stufe für 1° C. in der Tiefe von
85 rheinl. F. [2]) (26,7 M.)	9,0° C.	
1000 " " (313,9 ")	23,2° C.	85—1000 rheinl. F. 64,4 rheinl. F. (20,2 M.)
2000 " " (627,7 ")	33,0° C.	1000—2000 " " 102,0 " " (32,0 ")
3000 " " (941,6 ")	43,0° C.	2000—3000 " " 100 " " (31,4 ")
4042 " " (1268,6 ")	48,1° C.	3000—4042 " " 204,3 " " (64,1 ")

Doch kommen auch hier ausser der geringen Anomalie in der dritten Stufe innerhalb kleinerer Abstände beträchliche Abirrungen von dem allgemeinen Gesetze vor.

Die Beobachtungen in den artesischen Brunnen lassen ebenfalls das Wachsthum der geothermischen Tiefenstufen nach unten erkennen; doch ändert sich auch hier die Temperaturzunahme nicht nach einem mit hinreichender Schärfe hervortretenden Gesetz, wie die nachstehende Tabelle zeigt.

Tiefe.	Beob. Temp.	Grösse der geothermischen Stufe für 1° C. in der Tiefe von
	Bohrbrunnen von la Grenelle in Paris.	
86* Par. F. [3]) (27,9 M.)	11,82° C.*	
763 " " (247,9 ")	20,00° C.	86—763 Par. F. 82,8 Par. F. (26,7 M.)
1231 " " (399,9 ")	23,75° C.	763—1231 " " 124,8 " " (40,5 ")
1555 " " (505,1 ")	26,43° C.	1231—1555 " " 120,9 " " (39,3 ")
1684 " " (547,0 ")	27,70° C.	1555—1684 " " 101,6 " " (33,0 ")
	Bohrbrunnen von Rüdersdorf bei Berlin.	
80* Par. F. (26,0 M.)	8,50° C.*	
380 " " (123,4 ")	17,12° C.	80—380 Par. F. 34,8 Par. F. (11,3 M.)
655 " " (212,8 ")	19,75° C.	380—655 " " 104,6 " " (34,0 ")
880 " " (285,9 ")	23,50° C.	655—880 " " 60,0 " " (19,5 ")
	Bohrbrunnen von Neusalzwerk in Westphalen.	
80* Par. F. (26,0 M.)	8,7° C.*	
580 " " (188,4 ")	19,7° C.	80—580 Par. F. 45,5 Par. F. (14,8 M.)
1285 " " (417,4 ")	27,5° C.	580—1285 " " 90,4 " " (29,4 ")
1935 " " (628,6 ")	31,4° C.	1285—1935 " " 166,7 " " (54,1 ")
2144 " " (696,5 ")	33,6° C.	1935—2144 " " 95,0 " " (30,9 ")

[1]) Dunker, l. c. S. 336. 337.

[2]) Tiefe der invariablen Schicht.

[3]) Die mit * bezeichneten Zahlen (Tiefe der invariablen Schicht und mittlere Jahrestemperatur der betreffenden Orte, für Paris Tiefe und Temperatur der Caves de l'Observatoire) sind Werthe, welche wir zur Berechnung der geothermischen Stufen interpolirt haben.

Die Anomalie, welche fast consequent die letzten Stufen darbieten, lässt sich in ungezwungener Weise dadurch erklären, dass sich ein Theil des kälteren und somit specifisch schwereren Wassers herabsenkt. Hierdurch wird dem Grunde eine niedrigere Temperatur mitgetheilt, als ihm eigentlich zukommt, folglich die geothermische Tiefenstufe verkleinert.

Aus den angeführten Beispielen geht insbesondere zweierlei hervor:

1. Von der invariablen Schicht angefangen nimmt die Temperatur nach dem Erdinnern zu und zwar zunächst ziemlich gleichmässig. Locale Umstände bewirken bald eine Vergrösserung, bald eine Verkleinerung der geothermischen Tiefenstufe; in runder Mittelzahl darf dieselbe auf etwa 33 Meter (100 Par. Fuss) veranschlagt werden.

2. In grösserer Tiefe wachsen die geothermischen Stufen, oder — was dasselbe ist — die Wärmezunahme erfolgt unten weniger rasch als oben, wie wenn man sich weiter nach dem Erdinnern zu Räumen höherer, aber endlich constanter Temperaturen nähert.

Die Richtigkeit des zweiten dieser beiden Sätze hat Bischof durch ein Experiment in überzeugender Weise dargethan. Er liess eine grosse Kugel von 73,8 Centimeter Durchmesser aus geschmolzenem Basalt herstellen und fand 48 Stunden nach dem Gusse folgende, um die Temperatur der umgebenden Luft verminderte Wärmegrade

im Mittelpunkte	191,9° C.
12,2 Centimeter vom Mittelpunkte	170,0° C.
18,3 Centimeter vom Mittelpunkte	156,1° C.
24,4 Centimeter vom Mittelpunkte	137,2° C.

Das Wachsthum der thermischen Stufen nach dem Innern ist hier nicht zu verkennen. In der äusseren Hälfte des Halbmessers von 24,4 Centimeter beträgt die Wärmeabnahme 32,8° C., in der inneren Hälfte 21,9° C.; somit ist die Tiefe für 1° C. Wärmeabnahme im ersten Falle = 3,72 Millimeter, im zweiten = 5,57 Millimeter. Theilen wir denselben Halbmesser in vier gleiche Stücke, so ist die Temperaturabnahme, wenn wir von aussen nach innen gehen, im ersten Viertel = 18,9° C., im zweiten = 13,9° C.; demnach sind die Tiefenstufen = 3,23 und 4,39 Centimeter. Ist die Erde ein mit hoher Eigenwärme erfüllter Körper, — und diese Voraussetzung ist zweifellos richtig — so darf man annehmen, dass ihre Abkühlung durch Wärmeleitung und Wärmeausstrahlung nach denselben Gesetzen erfolgt ist und noch erfolgt wie die jener Basaltkugel[1]).

Somit ist die Annahme gänzlich zu verwerfen, dass schon in einer Tiefe von 3300 Metern (c. $^5/_{12}$ geogr. Meilen) das Wasser nur in Dampfform und in einer Tiefe von 6 geogr. Meilen bereits der Basalt in

[1]) C. F. Naumann, l. c. Bd. I, S. 54 f.

geschmolzenem, feuerflüssigem Zustande vorkomme. Eine derartige Behauptung ist nicht bloss deshalb unhaltbar, weil sich der Siede- wie der Schmelzpunkt der Elemente mit dem steigenden Drucke erhöht, sondern auch weil die geothermischen Stufen mit der Tiefe wachsen. Sollte zumal das Erdinnere eine gluthflüssige Masse sein (vgl. hierzu den Abschnitt: die Kant-Laplace'sche Hypothese und die Gluthflüssigkeit des Erdinnern), so könnte von dem Rande derselben bis zum Erdinnern schon deshalb keine wesentliche Temperatursteigerung mehr stattfinden, weil die eintretenden Temperaturdifferenzen rasch durch Strömungen wieder ausgeglichen würden.

Uebrigens ist die Eigenwärme der Erde keine constante Grösse; sie nimmt vielmehr wie vom Anfang an so auch jetzt noch beständig ab. Doch ist die Temperatur, welche aus dem Erdinnern zur Oberfläche aufsteigt, gegenwärtig nur so gross, dass sie innerhalb eines Jahres eine um die Erde gelegte Eishülle von 6,8 Millimeter Dicke zu zu schmelzen vermöchte, während die Summe der Wärme, welche die Sonne jährlich der Erde zusendet, ausreichen würde, eine Eisrinde von 30,8 Meter Mächtigkeit in Wasser zu verwandeln [1]. Würde uns einmal in Folge gänzlicher Erkaltung des Erdkörpers die planetarische Wärmequelle völlig entzogen, so würden die mittleren Temperaturen an der Erdoberfläche nur um $^1/_{30}$ ^{0} C. sinken. Es würde also von dieser Seite her dem organischen Leben auf Erden keine Zerstörung drohen, wenn nicht mit der Erkaltung unseres Planeten eine Aufsaugung des Luftkreises verbunden wäre (vgl. S. 53. 101 f.).

[1]) A. Secchi, Die Sonne. Uebersetzt von H. Schellen. Braunschweig 1872. S. 582.

IV. Der Vulcanismus.

Ein Vulcan ist ein mehr oder weniger flacher Kegel, der durch einen Canal mit dem Erdinnern verbunden ist oder wenigstens verbunden war und gasförmigen, wie festen, vor allem aber gluthflüssigen Massen als Ausgangspunkt dient oder früher gedient hat.

Nach K. v. Seebach's Vorgange[1]) unterscheidet man geschichtete und homogene Vulcane. Gerathen die aus dem Erdinnern empordringenden gluthflüssigen Massen mit dem in grössere Tiefen hinabgesickerten Wasser in Conflict, so ereignen sich gewaltige Explosionen, und die emporgeschleuderten Aschen und Lapilli gewähren reiches Material zum Aufbau eines geschichteten (oder Strato-) Vulcans. Kommen hingegen die gluthflüssigen Massen nicht mit grösseren Wassermengen in Berührung, so steigen sie ruhig, d. h. ohne den Einfluss explosiver Gewalten empor und breiten sich, an der Mündung des Canals angelangt, deckenartig aus oder bilden glockenförmige Kegel. Spricht man schlechtweg von Vulcanen, so pflegt man gewöhnlich Stratovulcane unter dieser Bezeichnung zu verstehen; ihnen gelten auch in erster Linie die nachfolgenden Betrachtungen.

Die äussere Gestalt eines Stratovulcans ist die eines an seinem Gipfel abgestumpften Kegels. Auf dem höchsten Theile befindet sich meist eine von jäh abfallenden Wänden umschlossene, trichterförmige Vertiefung: der Krater. Er trägt an seiner tiefsten Stelle einen kleinen, aus vulcanischen Aschen bestehenden Kegel, den sogenannten Aschenkegel, in welchen der aus der Tiefe emporsteigende Canal mündet.

Nicht selten erscheint die schüsselartige Form des Kraters zerstört. Diese Verletzung wird namentlich dadurch herbeigeführt, dass die in dem Krater sich ansammelnde Lava gewaltsam eine Wand desselben

[1]) Vorläufige Mittheilung über die typischen Verschiedenheiten im Bau der Vulcane und über deren Ursache. Zeitschrift der deutschen geolog. Gesellschaft. Bd. XVIII (1866), S. 643—647.

einreisst oder einschmilzt und sich nun durch die gewonnene Oeffnung einen Weg bahnt. Daher giebt es zahlreiche Vulcane mit einseitig geöffnetem Eruptionskrater, deren Gestalt demnach der eines Hufeisens ähnelt. Ein solches Bild gewähren uns die Inseln Santorin, S. Paul u. a. Verschiedene Gipfel der Eifel, der Auvergne, sowie eine grössere Anzahl der parasitischen Kegel des Aetna zeigen ebenfalls hufeisenförmige Kratere.

Viele Vulcane besitzen übrigens ausser dem meist centralen Hauptkrater noch andere auf dem Abhange des Berges gelegene grössere oder kleinere Kratere mit dazu gehörigen Kegeln. So haben der Pic von Teneriffa und der Mauna Loa zwei Hauptkratere, und am Aetna sind 700, am Vesuv 30 kleinere Eruptionsschlünde gezählt worden. An anderen Stratovulcanen wieder vermissen wir einen eigentlichen Krater; die Eruptionen erfolgen hier aus Spalten an den Abhängen der Kegel, so am grossen Ararat, am Antisana in Südamerika und anderwärts.

Nach Leopold v. Buch[1]) hat man sich die Entstehung der Stratovulcane etwa so zu denken: Bildete sich unter horizontal liegenden Schichten ein bis zum gluthflüssigen Erdinnern hinabreichender Spalt, so drangen aus dem hocherhitzten unterirdischen Heerde Dämpfe von grosser Spannkraft empor und bewirkten eine glocken- oder blasenförmige Auftreibung der Erdrinde. Oefter blieb es hierbei. Unter günstigen Verhältnissen jedoch öffnete sich bei wachsender Spannung der Glockenberg an seinem Gipfel, und dieser stürzte nun, wenn das erhobene Krustengewölbe nicht ausgefüllt und ausserdem vielleicht stark zerklüftet war, so dass es sich nicht selbst tragen konnte, mit dem oberen Theile des Berges in die „hohle Axe der Erhebung" hinab. Die circusartigen Reste der Aufblähung nannte L. v. Buch Erhebungskrater. Erst nach diesem Vorgang bildete sich meist mitten im Schosse jenes Circus durch Aufschüttung von Asche und Lapillis der sogenannte Auswurfskegel. Uebrigens gab es nach L. v. Buch auch Erhebungskratere ohne Aufschüttungskegel und wiederum Auswurfskegel an Stellen, wo keine Erhebungskratere zu sehen waren.

Auf die Entstehung einer solchen Glockenform, die eines uneröffneten Berges, passen Ovid's Worte[2]) über das grosse vulcanische Naturereigniss auf der Halbinsel Methone (jetzt Methana, südwestlich

[1]) L. v. Buch: Ueber basaltische Inseln und Erhebungskratere in den Abhandlungen d. Kgl. Akademie d. W. zu Berlin v. J. 1818 und 1819, S. 51—68. — L. v. Buch, Physikalische Beschreibung der canarischen Inseln. Berlin 1825. S. 295.

[2]) Metamorph. XV, 296—306.

von Aegina): „Die Gewalt der in finsteren Erdhöhlen eingekerkerten Winde treibt, eine Oeffnung vergebens suchend, den gespannten Erdboden auf (extentam tumefecit humum), wie wenn man eine Blase oder einen Schlauch mit Luft anfüllt.“ Die aristotelische Erzählung von dem vulcanischen Ereigniss auf Hiera (einer neu entstandenen äolischen Insel) führt noch einen Schritt weiter, indem hier „der unterirdische, mächtig treibende Hauch (*πνεῦμα*) zwar ebenfalls einen Hügel erhebt, ihn aber später zum Erguss eines feurigen Aschenregens aufbricht“ [1]). So hat also die Buch'sche Theorie auch die classischen Autoren auf ihrer Seite. Sie fand, von A. v. Humboldt und Elie de Beaumont unterstützt, in Deutschland überall Anklang, und jeder schwur auf der Meister Worte.

Als sich der Geolog Dana im Jahre 1840 mit dem Studium der phlegmatischen Vulcane auf den Sandwichinseln beschäftigte, erregte er die ersten Zweifel gegen die Buch'sche Lehre [2]); vor allem aber zeigte Junghuhn durch seine zahlreichen Untersuchungen auf Java [3]), dass alle jene sogenannten Erhebungskratere aus Lavaergüssen und Auswurfsproducten bestehen, welche sich nach und nach um die Eruptionsöffnung angesammelt und einen kegelförmigen Bau hergestellt haben. Zu dieser Ansicht bekannten sich später Sir Charles Lyell, Hartung, Scrope, F. v. Hochstetter, und jetzt folgen ihr die meisten Geologen. Nach der neuen Anschauung ist die ringförmige Umwallung des inneren Eruptionskegels und Kraters auf den Einsturz eines früher noch höher aufgethürmten Aufschüttungskegels zurückzuführen, dessen Circus sich allmählich erweiterte, indem sich seine Wände abblätterten. Während sich dieser Process vollzog, bildete sich vielleicht durch wiederholte Ausbrüche in seinem Innern ein neuer Kegel. Somit verdienen die sogenannten Erhebungskratere eigentlich den Namen Einsturzkratere. Sie sind nichts anderes als mächtige Anhäufungen von ehemals flüssigen Laven, Aschen, Schlacken und anderen Auswürflingen um den Mund des aus der Tiefe emporsteigenden Canals. Schon die Pinie, d. i. die zur Zeit des Ausbruches über dem Vulcan schwebende Aschewolke verräth uns bei Windstille den künftigen Kegelberg, welchen sie mitaufrichten hilft, da sie in der Mitte viel mächtiger ist als an den Rändern.

Gegen die Buch'sche Theorie lässt sich zunächst die Thatsache

[1]) Aristot. Meteor. II. 8, 17—19. Vgl. A. v. Humboldt, Kosmos. Bd. IV, S. 273.

[2]) James Dana, U. St. Explor. Exped. Geology. New-York s. a. p. 369.

[3]) Franz Junghuhn, Java, seine Gestalt, Pflanzendecke und innere Bauart. Uebersetzt von J. K. Hasskarl. Leipzig 1852—1854. Bd. II, S. 606—614.

anführen, dass den Vulcanen die Erhebungskratere nicht selten ganz fehlen und dass man noch nirgends einen sogenannten Erhebungskrater gefunden hat, der nicht selbst aus vulcanischem Material bestände. So werden vier Fünftel von der Oberfläche der Insel Java von sedimentären Schichten gebildet, die der letzten Tertiärperiode angehören und eine sehr grosse Mächtigkeit besitzen. Und doch begegnet man in keinem Theile der Insel einer Spur von sedimentärem Gestein auf dem Gehänge der vulcanischen Kegel. Dieses endigt überall am Fusse und oft in bedeutender Entfernung von den Vulcanen, wo es in der Regel schroffe Wände darstellt, welche den Kegeln entgegenblicken. Die Vulcane erscheinen demnach als kleine hutförmige Inseln auf tertiärem Gebiete [1].

Ferner spricht gegen die Buch'sche Theorie der sehr wichtige Grund, dass man nirgends, wo sich die älteren, nichtvulcanischen Gesteine nahezu bis an eine Eruptionsöffnung heran beobachten liessen, eine Spur einer localen und concentrischen Erhebung oder Schichtenaufrichtung gefunden hat. So verharren in der Eifel die Grauwackenschichten in unveränderter Stellung bis zum Kraterrand und zwar bei Vulcanen und Maaren [2]. Ebenso ruhen die zahlreichen Eruptionskegel unweit des Waitemata- und Manukau-Hafens (zur Nordinsel von Neuseeland gehörig) nach v. Hochstetter's Bericht auf der Basis horizontaler Bänke tertiärer Sandstein- und Thonmergelschichten [3], und entdeckt man auch hie und da örtliche Störungen und mehr oder weniger beträchtliche Verwerfungen in dem tertiären Grundgebirge, so ist doch nirgends eine gewölbartige Auftreibung um einen mittleren Eruptionspunkt bemerkbar. Ebenso vermisste Junghuhn auf Java jegliche Aufrichtung der Bänke, wie sie L. v. Buch forderte [4]. Es würde auch schwer zu begreifen sein, wie ein Lavagang von 30 bis 60 Meter Dicke beträchtliche Aenderungen in der inneren Architektur einer starren, viele Meilen dicken Erdkruste hervorzubringen vermöchte.

Aus L. v. Buch's Annahme, dass ein centraler Stoss oder der Druck von Dämpfen eine kreisförmige Bodenfläche zu einem rasch emporstrebenden Kegel umgestaltet, ergiebt sich, dass dieser in Splitter gespalten wird, welche sich nach oben zu immer weiter von einander entfernen. Zwischen ihnen aber müssten sich wie bei einer zerbrochenen Fensterscheibe Risse speichenförmig von der Durchbruchsstelle

[1] Junghuhn, l. c. Bd. II, S. 612 ff.
[2] B. v. Cotta im Ausland 1865, S. 246.
[3] Ferd. v. Hochstetter, Neuseeland. Stuttgart 1863. S. 86.
[4] Junghuhn, l. c. Bd. II, S. 611.

ausbreiten (Fig. 25); jeder Erhebungskrater würde demnach einem Mauerring mit Zinnen gleichen. Wirklich finden sich auch jene Schluchten vielfach an den Kratern der Vulcane; sie führen den spanischen Namen Barrancos. Ursprünglich beriefen sich die Anhänger der Erhebungstheorie mit Nachdruck auf diese Bildungen; spätere Untersuchungen aber zeigten, dass diesem Argument kein Gewicht beigelegt werden könne. Wären nämlich die Barrancos durch einen plötzlichen Stoss aus den Tiefen der Erde entstanden, so müssten sie am Kraterrande sehr tief und breit, am Fusse des Berges aber seicht und schmal sein. Sie sind jedoch im Gegentheile seicht und schmal am Kraterrande, aber tief und breit gegen die Basis des Kegels hin (s. Fig. 26). Auch werden sie nach unten zu immer zahlreicher und sind durch Nebenrinnen vielfach mit einander verflochten. Die Barrancos werden offenbar durch die gewaltigen Giessbäche ausgefurcht, welche die mit den vulcanischen Eruptionen verbundenen Gewitterregen erzeugen (vgl. S. 219 f.); sie sind also ein Werk der Erosion und dürfen demnach in dem Streit über die Entstehung der Vulcane nicht zu Rathe gezogen werden.

Fig. 25.

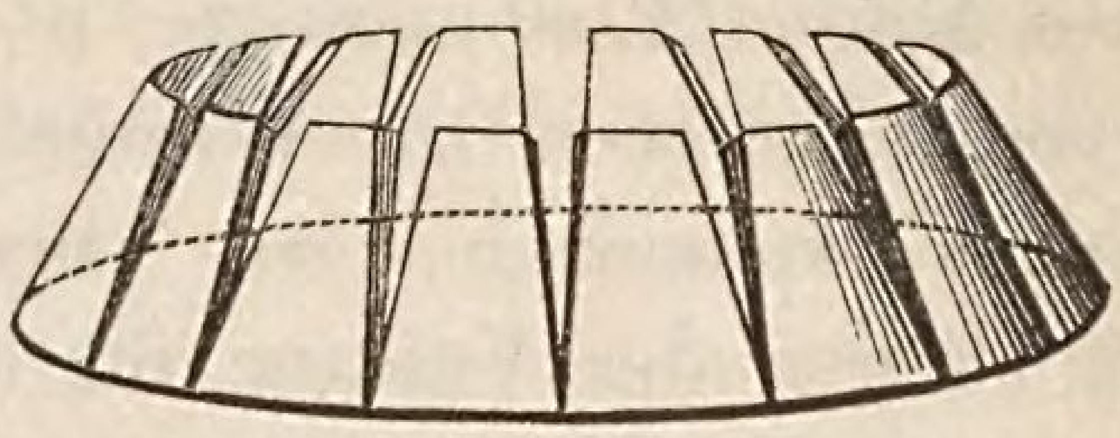
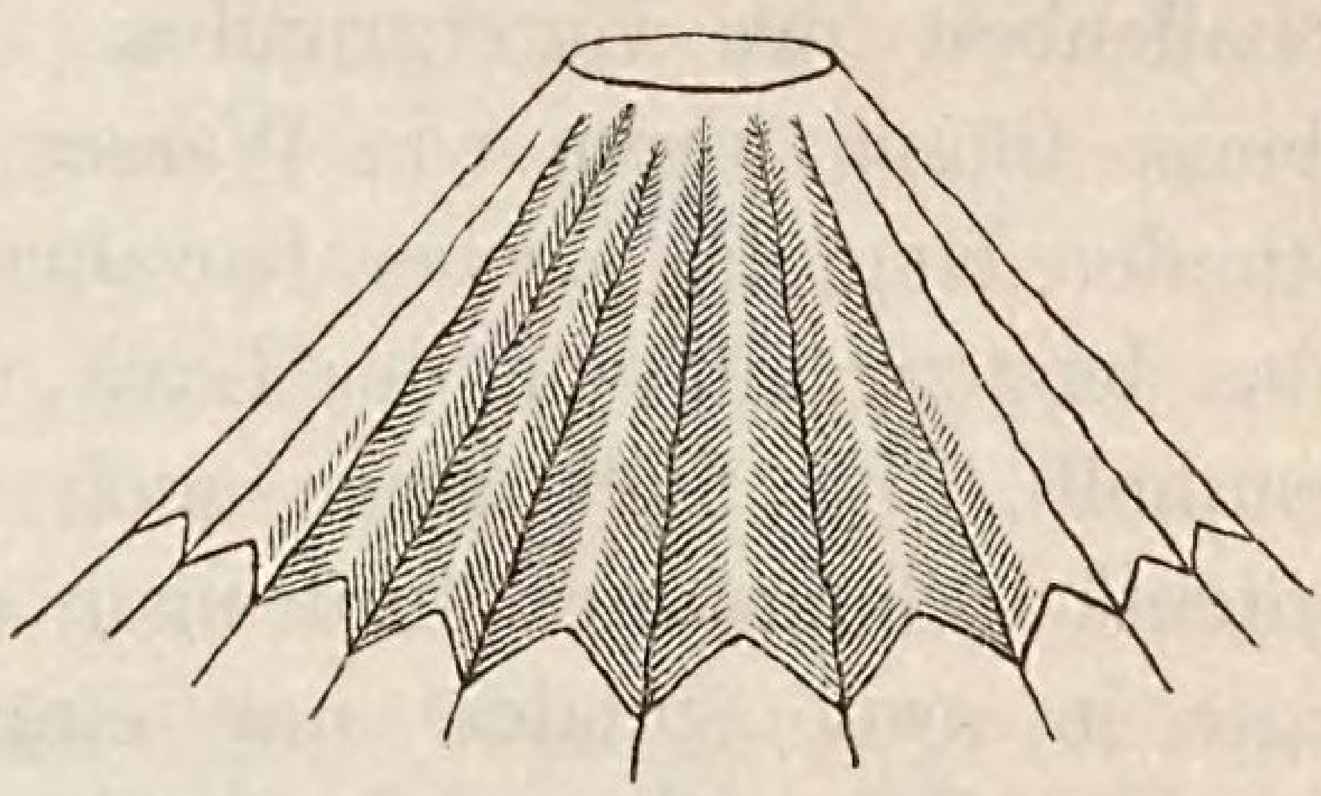


Fig. 26.



Gegen die Aufschüttungstheorie, welche wir vertreten, hat E. de Beaumont folgenden Einwand geltend gemacht[1]: Ein Lavastrom könne auf einem Abhange, welcher 6° oder stärker geneigt sei, nie eine zusammenhängende Masse, eine Schicht bilden, sondern auf seinem Wege nur einzelne Schlacken zurücklassen. Erst bei einer Neigung von 3° könnten Lavaströme erstarren und zu mächtigen Gängen werden. Da nun der Abhang der meisten vulcanischen Kegel eine Neigung von 20 bis 40° habe und fast überall Lavaschichten diese Neigung theilen, so könnten sie nicht von Anfang an diese Lage besessen haben, sondern müssten erst durch Erhebung der centralen Theile in diese schräge Stellung versetzt worden sein.

[1]) Vgl. C. W. C. Fuchs, Die vulcanischen Erscheinungen der Erde. Leipzig 1865. S. 142 ff.

Dieser Annahme E. de Beaumont's sind folgende Thatsachen günstig: Am 12. August 1805 schoss die Lava mit Windesschnelle von dem Vesuv herab und legte in den ersten vier Minuten 3 Miglien (= $^3/_4$ geogr. Meile) zurück. Der Strom von 1776 hatte eine mittlere Geschwindigkeit von $2^1/_4$ Meter in der Secunde. Ein Strom des Mauna Loa gelangte in zwei Stunden 15 englische Meilen (= 3 geogr. M.) weit [1]. Würden sich alle Lavaergüsse in so ungestümer Weise vollziehen, so wären die erstarrten Lavabänke an steilen Abhängen der Vulcane für die Vertreter der Aufschüttungstheorie eine räthselhafte Erscheinung.

Eine derartige Beweglichkeit der Laven gehört jedoch zu den Seltenheiten. Vor allem ist hier darauf hinzuweisen, dass sich die Geschwindigkeit, mit welcher ein Lavastrom vorrückt, nicht durch eine einfache Formel ausdrücken, keinesfalls aber allein aus der Neigung der Gehänge ableiten lässt. Sie ist vielmehr bedingt durch die Temperatur der Lavamasse (je erhitzter diese ist, um so rascher eilt sie vorwärts), durch die Qualität der geschmolzenen Erden, durch die Quantität der nachdrängenden Massen, durch die Neigung und Beschaffenheit des Untergrundes. Man hat Laven beobachtet, welche ebenso flüssig waren wie Wasser, aber auch solche, welche mehrere Stunden lang die Löcher bewahrten, die man mit Stäben hineinstiess (das letztere gilt von der Lava, welche dem Vesuv im August 1832 entquoll). Es fehlt daher auch nicht an Zeugnissen für ein ausserordentlich langsames Vordringen der Lavaströme. Der zuletzt erwähnte legte in zwei Stunden nur einen Weg von 2 Metern zurück. Im October 1822 wälzte sich ein Strom bei Resina innerhalb einer Stunde ebenfalls nur $1^2/_3$ bis 2 Meter vorwärts. Ferner erzählt Dolomieu von einem Strome, der zwei Jahre beständig in fortschreitender Bewegung war und doch nur 3800 Meter weit in dieser Zeit gelangte; die tägliche Ortsveränderung der Lavatheilchen betrug demnach im Durchschnitt nur 5,2 Meter.

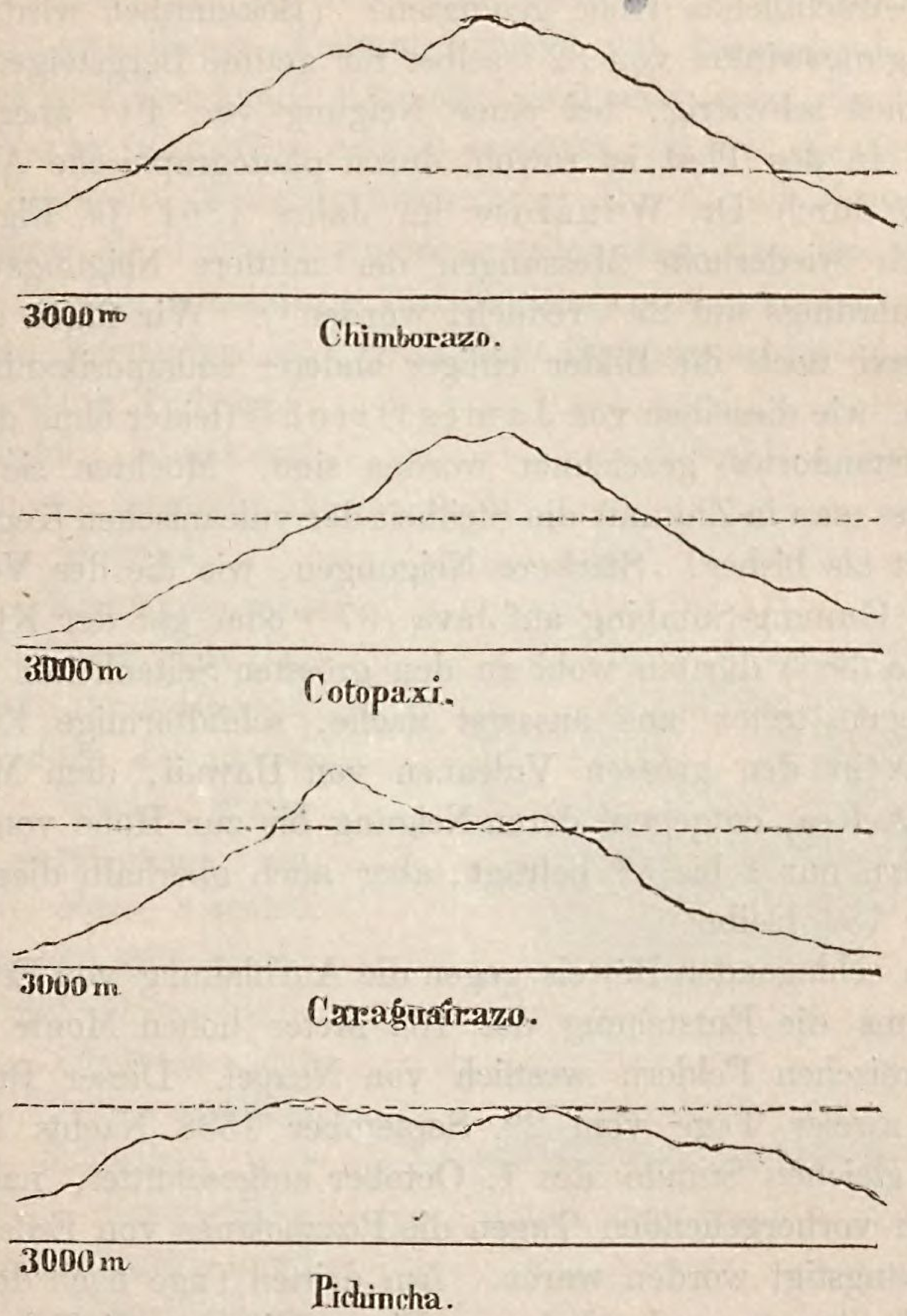
Ist die Lava so zähflüssig wie in den zuletzt angeführten Fällen, so kann sie selbst auf dem Wege über relativ steile Abhänge verhärten. Nach Dana erstarrt die Lava des Mauna Loa bisweilen auf Abhängen mit 25° Neigung. Der Lavastrom, welcher 1855 aus dem Vesuv floss, kam zum Stillstand, während er sich über einen um 30° geneigten Abhang ergoss. Dana giebt sogar eine Zeichnung einer wirklich flaschenförmigen Lavasäule von 13 Meter Höhe an der Flanke des Mauna Loa. Ein quellenartiger Lavastrom stieg hier senkrecht empor, und indem die übereinander sich erhebenden Wellen oder

[1] Fuchs, l. c. S. 309.

Strahlen der zähen Masse allmählich erkalteten, entstand eine frei aufgerichtete Lavasäule. Demnach ist die Lava bisweilen von solcher Zähflüssigkeit, dass sie selbst in einer völlig verticalen Position oder unter einem Winkel von 90° Grad verharren kann. Am Mauna Loa finden sich sogar viele derartige Lavakegel [1]).

Die Folgerungen, welche E. de Beaumont an die Existenz stark geneigter Lavaschichten knüpfte, dürfen wir um so mehr zurück-

Fig. 27.



Die punktirten Linien bezeichnen die Grenze des ewigen Schnees.

weisen, als von ihm und seinen Zeitgenossen, wie dies leider auch jetzt noch so häufig geschieht, die Neigung der Berggehänge bedeutend überschätzt wurde. Hierzu trugen nicht wenig die Bilder von amerikanischen Vulcanen bei, welche A. v. Humboldt aus der neuen

[1]) G. Poulett Scrope, Die Bildung der vulcanischen Kegel und Krater. Uebers. von C. L. Griesbach. Berlin 1873. S. 32.

Welt nach Europa brachte und in seinen „Vues des Cordillères“ veröffentlichte. Nach A. v. Humboldt's Zeichnung, welche G. A. v. Klöden in seinem Handbuche der physischen Geographie (2. Aufl. S. 135) copirte, haben die Abhänge des Vulcans Cotopaxi eine Neigung von fast 55°! Würden dann nicht alle Auswürflinge an den steilen Rändern hinabgerollt sein? Und wie wäre es dann möglich gewesen, dass Boussingault und Hall im Jahre 1831 bei ihren Versuchen, den Berg zu erklimmen, auf den Gehängen des Eruptionskegels bis zu einer beträchtlichen Höhe gelangten? (Bekanntlich wird schon bei einem Neigungswinkel von 32° selbst für geübte Bergsteiger das Vorwärtskommen schwierig, bei einer Neigung von 40° aber ganz unmöglich.) In der That ist sowohl durch photographische Aufnahmen, ausgeführt durch Dr. Winslow im Jahre 1864 (s. Fig. 27), als auch durch wiederholte Messungen der mittlere Neigungswinkel des Kegels neuerdings auf 29° reducirt worden [1]. Wir fügen dem Profil des Cotopaxi noch die Bilder einiger anderer südamerikanischer Vulcane hinzu, wie dieselben von James Orton [2] (leider ohne genaue Angabe des Standortes) gezeichnet worden sind. Möchten sie dazu beitragen, dass man in Zukunft die Steilheit der vulcanischen Kegel weniger überschätzt als bisher! Stärkere Neigungen, wie die des Vesuvkegels (31°), des Gunung-Sumbing auf Java (37°) oder gar der Kliutschewskaja Sopka (38°) dürften wohl zu den grössten Seltenheiten gehören.

Hingegen treten uns äusserst flache, schildförmige Erhebungen des Bodens in den grossen Vulcanen von Hawaii, dem Mauna Loa und Mauna Kea, entgegen, deren Neigung bis zur Höhe von 1300 bis 1400 Metern nur 1 bis 5° beträgt, aber auch oberhalb dieser Grenze stets unter 15° bleibt.

Einen schlagenden Beweis gegen die Aufblähung von Erdschichten gewährt uns die Entstehung des 134 Meter hohen Monte Nuovo in den phlegräischen Feldern westlich von Neapel. Dieser Berg wurde innerhalb zweier Tage vom 29. September 1538 Nachts 1 Uhr bis etwa zur gleichen Stunde des 1. October aufgeschüttet, nachdem an den beiden vorhergehenden Tagen die Pozzuolaner von Erdstössen beständig geängstigt worden waren. Am dritten Tage nach dem Beginn der Eruption wagte es der beherzte Pietro Giacomo di Toledo bereits, sich auf den „Neuberg“ zu begeben und in den Krater hinabzusteigen, wo er noch Lava in einem Kessel kochen sah. An etlichen der nächsten Tage warf der Schlund wieder einige Schlacken aus, jedoch ohne die frühere Heftigkeit, und dann blieb alles ruhig und kalt bis auf

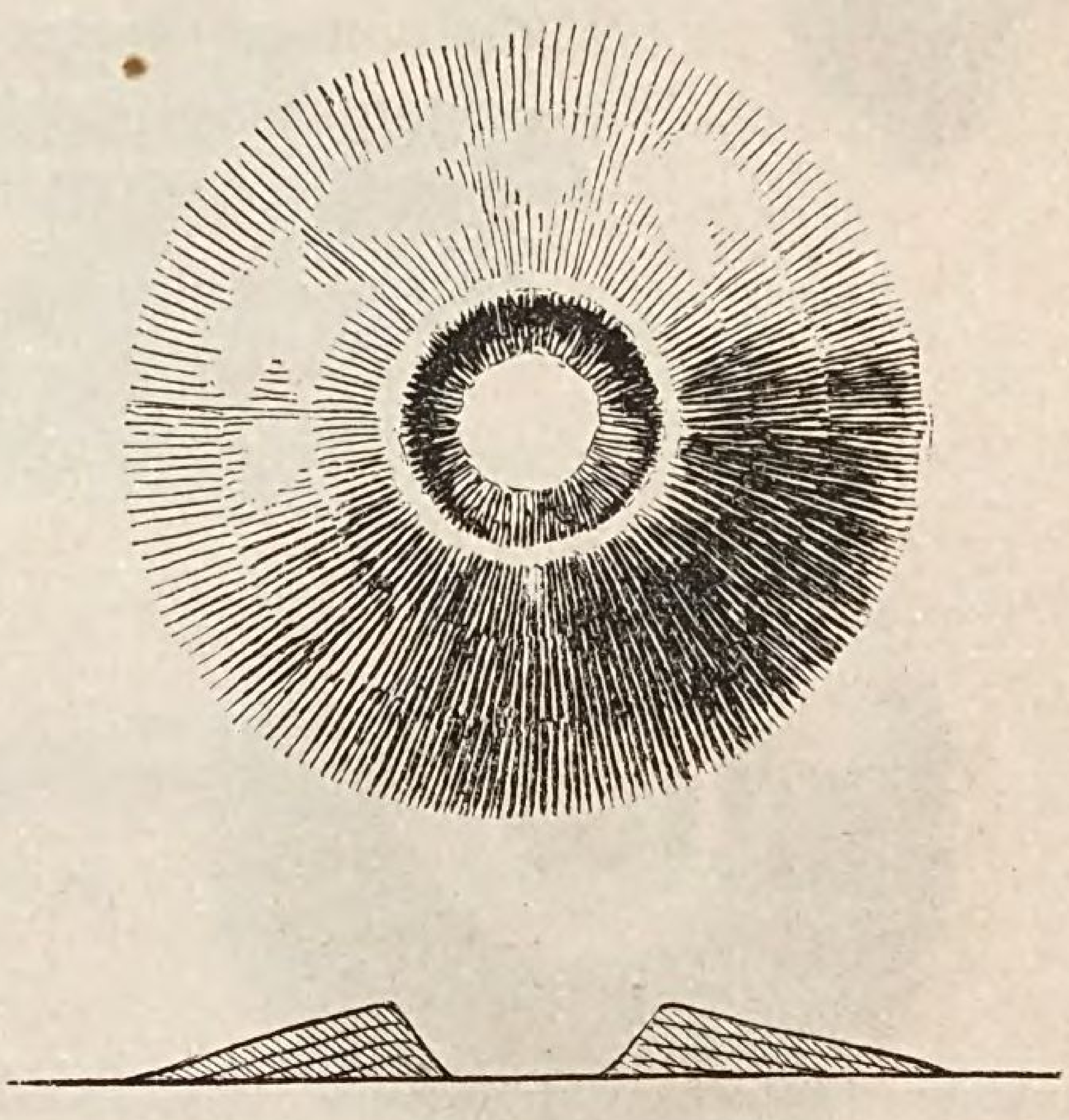
[1] Moriz Wagner, Naturwissenschaftliche Reisen im tropischen Amerika. Stuttgart 1870. S. 515. 516.

[2] The Andes and the Amazon. 3rd ed. New-York 1876. p. 123.

den heutigen Tag. Am Fusse des Monte Nuovo befindet sich ein Apollotempel, dessen Mauern noch lothrecht stehen. Hätten die Schichten, auf denen dieses Bauwerk ruht, eine glockenförmige Auftreibung erfahren, so würden die Mauern sicher zum Falle gekommen sein. Das Gleiche gilt von einem Tempel des Pluto am See Avernus, der dem Bereich der vermutheten Aufrichtung noch hätte angehören müssen. Somit kann der Monte Nuovo kein Erhebungskrater sein [1]).

Welche Verschiedenheiten die innere Structur der Stratovulcane darbietet, hat uns vor allem Ferdinand v. Hochstetter durch seine gründlichen Untersuchungen auf Neuseeland gezeigt [2]). Die Vulcane der Landenge von Auckland sind zwar sämmtlich von geringem Wuchs (ihre Höhe beträgt meistens nur 100 bis 200 Meter), aber es sind „wahre Modelle" vulcanischer Kegel, an denen es sich übrigens klarer als irgendwo anders erweisen lässt, dass das Gerüst der Vulcane nur durch allmähliche Aufschüttung, nicht durch Aufblähung und Einsturz entstanden ist. Nach dem Baumaterial unterscheidet F. v. Hochstetter Tuffkegel, Schlackenkegel, Lavakegel und Kegel von gemischtem vulcanischem Material.

Fig. 28.



Tuffkegel. Nach F. v. Hochstetter.

Die Tuffkegel auf dem Auckland-Isthmus (Fig 28) sind der Zeit ihrer Bildung nach die ältesten. Die ersten Ausbrüche, welche wahrscheinlich unterseeisch auf dem Boden einer seichten und schlammigen, vom Winde wenig bewegten Meeresbucht stattfanden, förderten lose Massen zu Tage, nämlich vulcanische Schlacken und Aschen, sowie Bruchstücke des Grundgebirges und Schlamm des Meeresbodens. Der Haupteruption folgten rasch zahlreiche Stösse, und die Auswurfsmassen wurden unter dem Einfluss des Meeres zu submarinen Schichten

[1]) Sir Charles Lyell, Principles of Geology. 12th ed. London 1875. Vol. I, p. 607—617. Vgl. hierzu: O. Peschel, Abhandlungen zur Erd- und Völkerkunde (herausg. von J. Löwenberg). Leipzig 1878. Bd. II, S. 531 ff.

[2]) F. v. Hochstetter, l. c. S. 85—95.

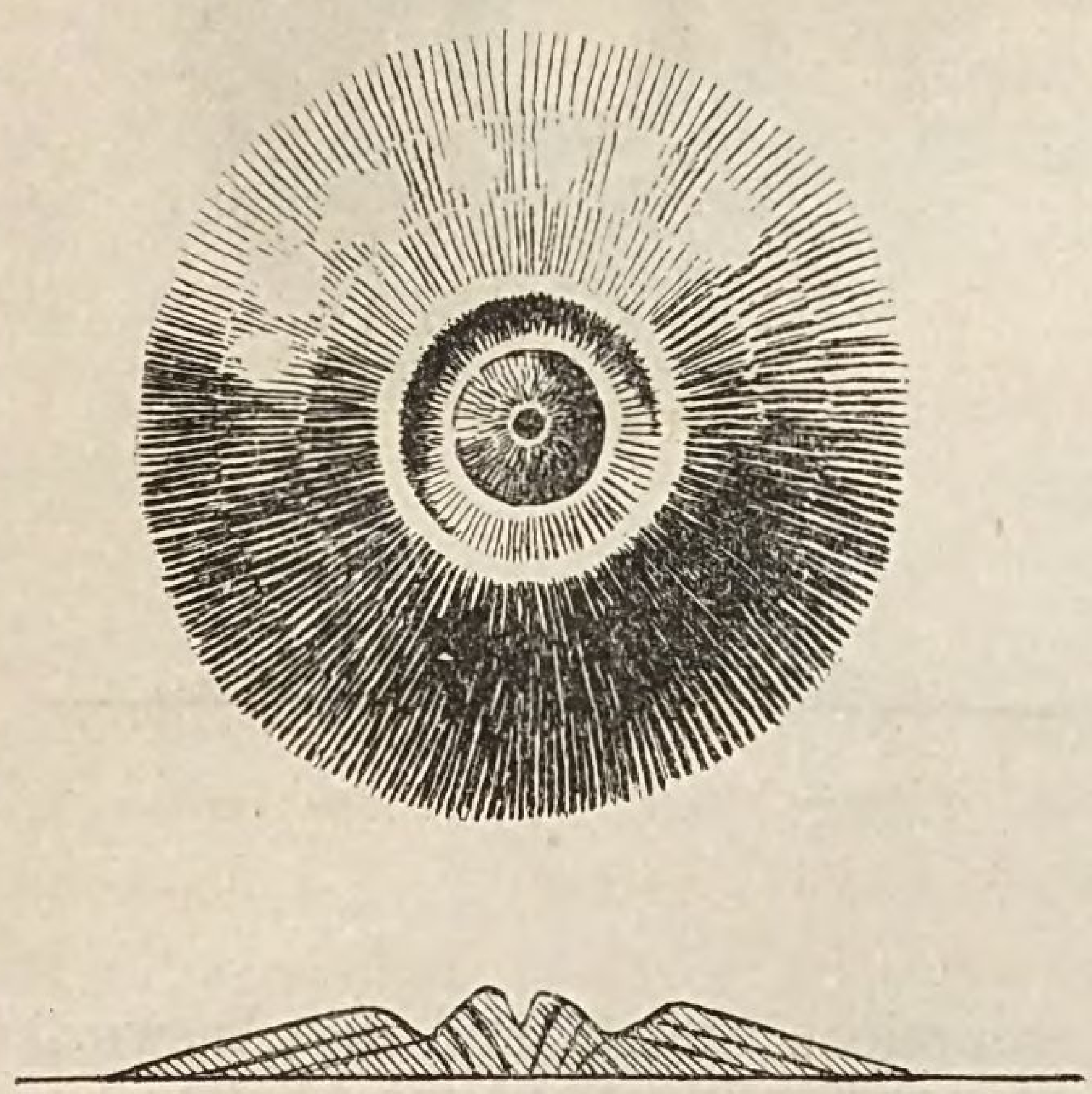
ausgebreitet, welche rings um die Ausbruchsstelle in regelmässiger Folge sich über einander lagerten. So bildeten sich niedere, stets sehr flache, höchstens in einem Winkel von 15° ansteigende Hügel: Tuffkegel oder, wenn sie kreisrunde Becken einschliessen, Tuffkratere.

Fig. 29.



Viele der isthmischen Vulcane blieben reine Tuffkegel. Nach Beendigung jener unterseeischen Aufschüttungen von Tuff hob sich die Landenge über das Wasser. Nun wurden die vulcanischen Gerüste aus spröderem Material erbaut: aus Aschen, Schlacken und Lavatropfen, welche in feurig-flüssigem Zustande rotirend durch die Luft flogen und in birnenförmiger Gestalt zu sogenannten vulcanischen Bomben (Lapilli) erkalteten (Fig. 29). Nicht an allen Ausbruchsstellen der ersten Periode drangen auch die Schlacken- und Aschenmassen der zweiten Periode hervor, sondern an vielen Punkten verblieb es bei der ersten Bildung des einfachen Tuffkraters, und die vulcanischen Kräfte bahnten sich in der zweiten Periode neue Wege. In diesem Falle entstand ein sogenannter Schlackenkegel. Wo aber die neuen Ausbrüche der alten Strasse folgten, da finden wir Tuffkegel und Schlackenkegel vereinigt (Fig. 30). Ueber dem flachen Tuffkegel, dessen äusserer Abhang selten steiler als mit 10° Neigung ansteigt, erhebt sich der Aschen- und Schlackenkegel, der aus mehr oder weniger zusammen gebackenen Schlacken, Aschen, Lapillis und Bomben aufgeschüttet ist, mit einem Böschungswinkel von 30 bis 40°. Der Krater am Gipfel dieses Kegels hat, wenn er vollständig erhalten ist, stets eine trichterförmige Gestalt. In dieser Combination von Tuffkegel und einem inselförmig im Tuffkrater sich erhebenden Schlackenkegel hat man das wahre Modell von dem, was Leopold v. Buch Erhebungskrater und Eruptionskegel genannt haben würde.

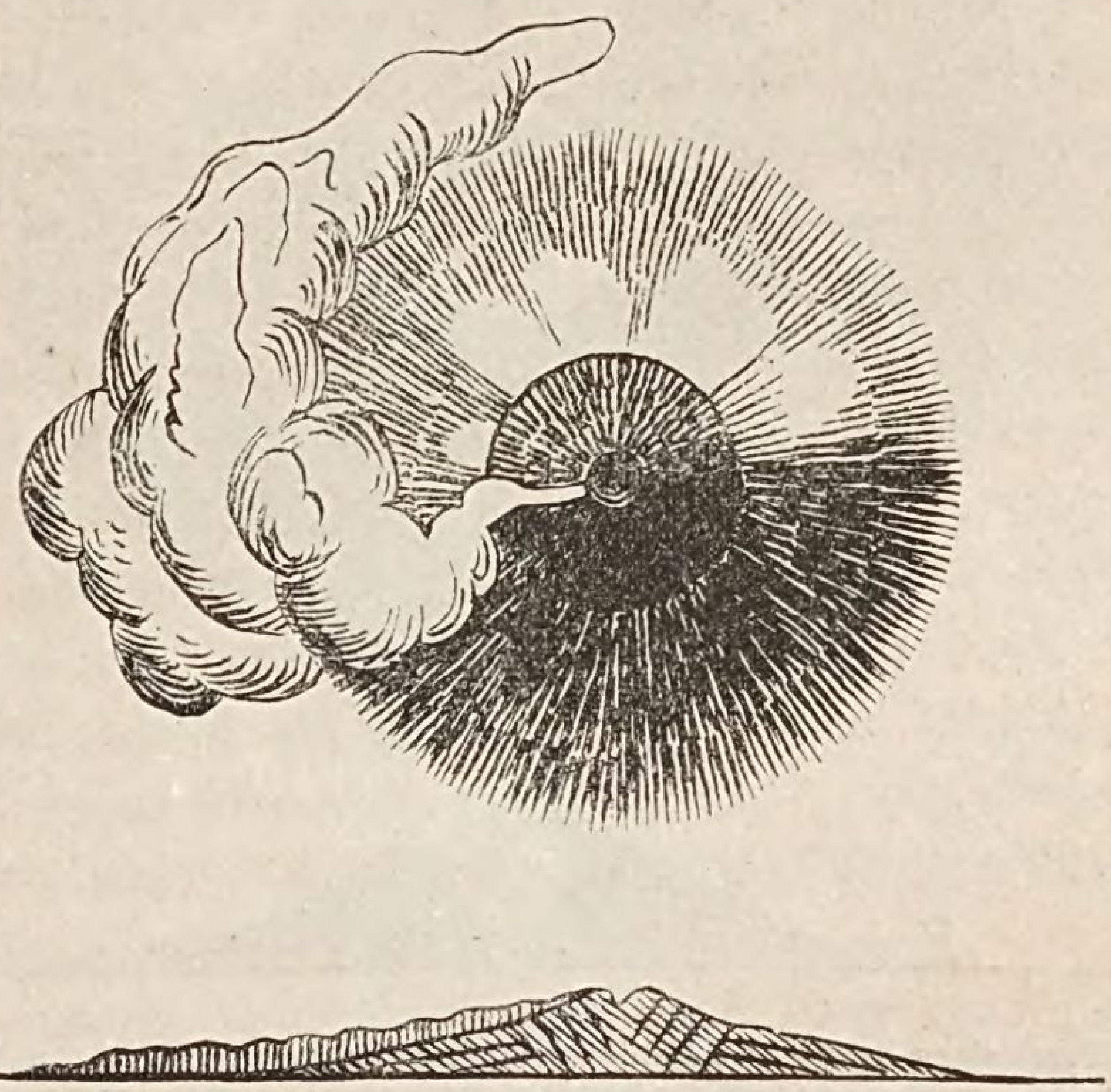
Fig. 30.



Tuff- und Schlackenkegel. Nach F. v. Hochstetter.

Vielfach folgte dem Auswurf von Aschen und Schlacken noch der Erguss eines Lavastromes, der den trichterförmigen Krater des Schlackenkegels an einer Seite durchbrach und, über den Ring des Tuffkegels seinen Weg nehmend, am Fusse des Berges sich ausbreitete (Fig. 31). Floss die Lava reichlicher und wiederholt, so musste sie zuletzt einen Kegel, gleichsam das Rohr oder das Mundstück des Lavabrunnens, aufbauen. Von den Auckland-Vulcanen gelang dies nur einem: dem Rangitoto. Er ist der höchste (300 Meter) und umfangreichste, der talentvollste unter seinen verkümmerten Brüdern. Der untere Theil dieses Berges, dessen Abhänge nur 4 bis 5 ⁰ gegen die Horizontale geneigt sind, besteht aus schwarzer Basaltlava, die,

Fig. 31.



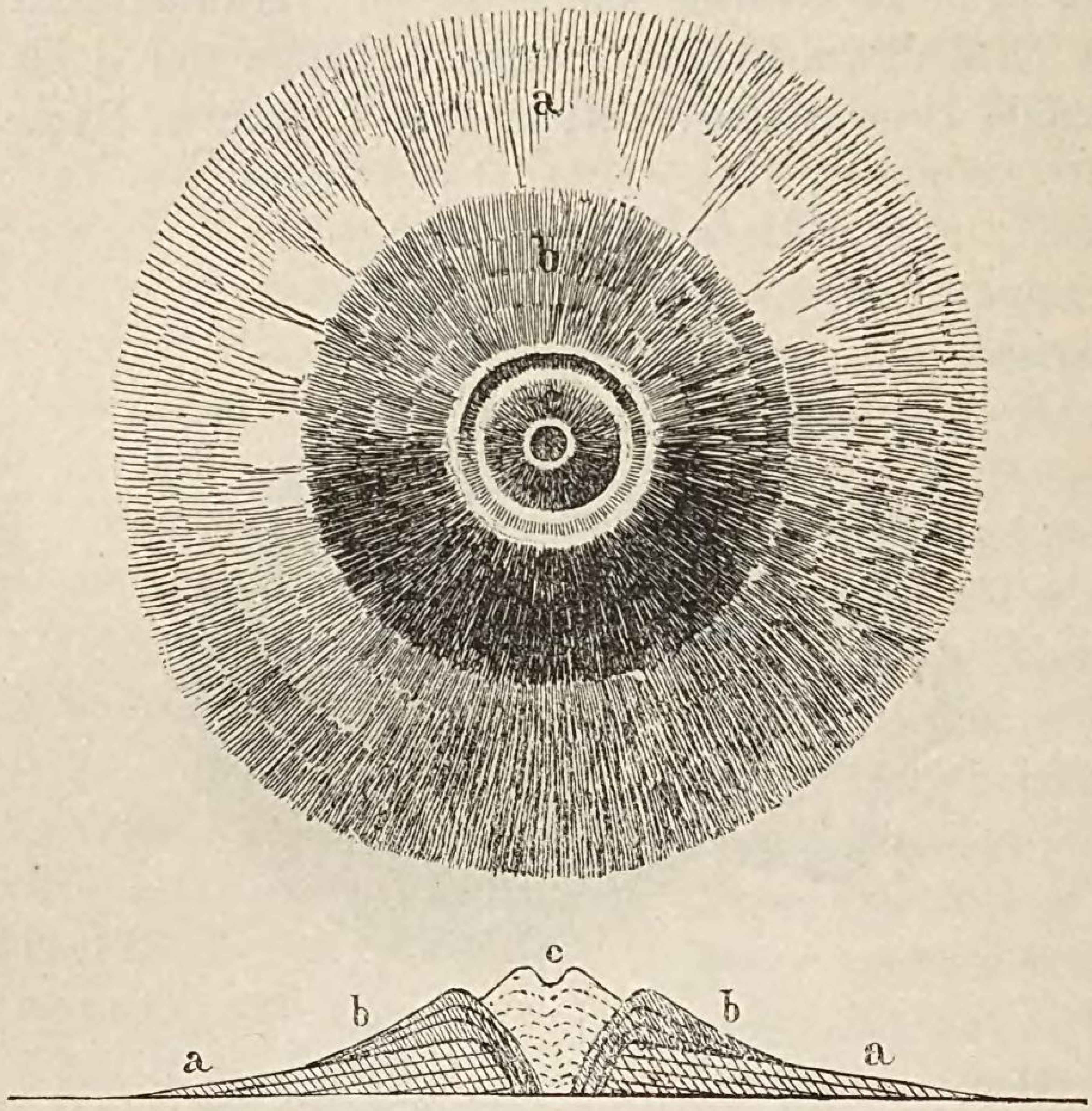
Tuffkegel, Schlackenkegel und Lavastrom. Nach F. v. Hochstetter.

deutliche Ströme bildend, am Meere in schroffen Felsriffen endet. Dieser Lavakegel trägt auf seinem Gipfel zwei unter viel steilerem Böschungswinkel (30 bis 33 ⁰) sich erhebende Aschen- und Schlackenkegel, von welchen der oberste mit einem wahrscheinlich gegen 60 Meter tiefen trichterförmigen Krater in den Krater des unteren eingesetzt erscheint.

Zur Construction eines vollständigen vulcanischen Kegelsystems gehören nach alledem drei Stücke: ein sanft ansteigender Tuffkegel, welcher den Fuss des ganzen Gerüstes, ein steilerer Lavakegel, welcher die Hauptmasse des Berges, und endlich ein Aschen- und Schlackenkegel, welcher die höheren Regionen mit dem Krater bildet, wie dies

die beistehende Figur 32 veranschaulicht. Uebrigens herrscht in der Aufeinanderfolge des verschiedenartigen Materials kein bestimmtes Gesetz. Der eine Vulcan ist in seinem unteren, flacheren Theile aus Lavamassen und im oberen aus lockerem Haufwerk (so der Aetna) zusammengesetzt, während bei einem anderen die Basis aus losem Gesteinsschutt und der Kraterrand aus harter Lava besteht.

Fig. 32.



Ideale Form eines Kegels von gemischtem vulkanischem Material. a. Tuffkegel. b. Lavakegel. c. Aschen- und Schlackenkegel. Nach F. v. Hochstetter.

Rascher als alle anderen Berge gehen die Vulcane ihrem Verfall entgegen. Manigfache Kräfte sind es, die an ihrer Zerstörung arbeiten, vor allem chemische und mechanische. Aus den zahlreichen Spalten dringen nämlich durch längere Zeiträume hindurch heisse Wasserdämpfe und Gase, insbesondere Schwefelwasserstoff, schweflige Säure und Chlorwasserstoff empor und zersetzen die Kraterwände. Ferner zernagen die atmosphärischen Wasser ausserordentlich rasch das Gestein und schwemmen es hinweg; es geschieht dies mit um so besserem Erfolge, als das ohnedies lockere Material durch die Wirkung der Gase in den Zustand der Zerbröckelung übergeführt worden ist. Namentlich stürzt am Kraterrande, der jenen zerstörenden Beeinflus-

sungen am meisten zugänglich ist, ein Theil der Kraterwand nach dem andern in die Tiefe hinab, welchen Process die in der Nähe von Vulcanen häufig eintretenden Erderschütterungen wesentlich fördern. So wird der Schlund des Kraters unablässig erweitert, sein Boden aber beständig erhöht. Hatte der Krater ursprünglich eine Kesselform, so stellt er später eine relativ flache, aber um so breitere, also tellerartige Vertiefung dar, welche von einem verschieden hohen, nach innen zu steil abfallenden ruinenhaften Ringe umschlossen wird. Je grösser derselbe ist, um so mehr erscheint der kraterähnliche Charakter der Einsenkung verwischt, namentlich dann, wenn dieselbe von einer reichen Vegetation bedeckt wird.

Beispiele für plötzliche Kratereinstürze von ansehnlichen Dimensionen lassen sich in Menge anführen. Der Caraguairazo (Quito) verlor in der Nacht vom 19. zum 20. Juni 1698 in Folge eines furchtbaren Erdbebens seinen Gipfel; ein Theil der Kraterwand ward fortgesprengt, so dass der ursprüngliche Kegel nun die Gestalt einer Doppelpyramide erhielt, welche er bis heutigen Tages bewahrt hat. Auch der Ilinissa (Quito) verdankt seine beiden Hörner nach der Aussage der Eingeborenen einem solchen Einsturz. Früher war derselbe ein einfacher Kegel, welcher an Höhe den Chimborazo übertroffen haben soll[1]). Am Abhang des Mauna Loa befand sich ursprünglich eine weite Ebene. Dieselbe sank zuerst etwa 32 Meter tief ein, und als später in der Mitte dieser eingesunkenen Fläche sich ein ähnlicher Erdfall ereignete, blieb nur ein $^1/_2$ Meile breiter Ring übrig. Endlich erfolgte — und zwar wiederum in der Mitte — ein dritter Erdfall von 325 Meter Tiefe, welcher ebenfalls einen ringförmigen Rand übrig liess und den jetzigen Krater bildete[2]).

Besonders häufig sind Eruptionen von derartigen Vorgängen begleitet, wobei dieselben wohl auf Rechnung der mit den vulcanischen Ausbrüchen verbundenen Erderschütterungen zu bringen sind. Von dem Gipfel des Capac Urcu (Cerro del Altar) erzählen die Eingeborenen des Hochlandes von Quito, dass er vierzehn Jahre vor dem Einfall von Huayna Capac, dem Sohne des Incas Tupac Yupanqui, nach den Eruptionen, die fortgesetzt sieben bis acht Jahre dauerten, zerstört worden sei[3]). Am 4. Januar 1641 wurde bei einem Ausbruch des

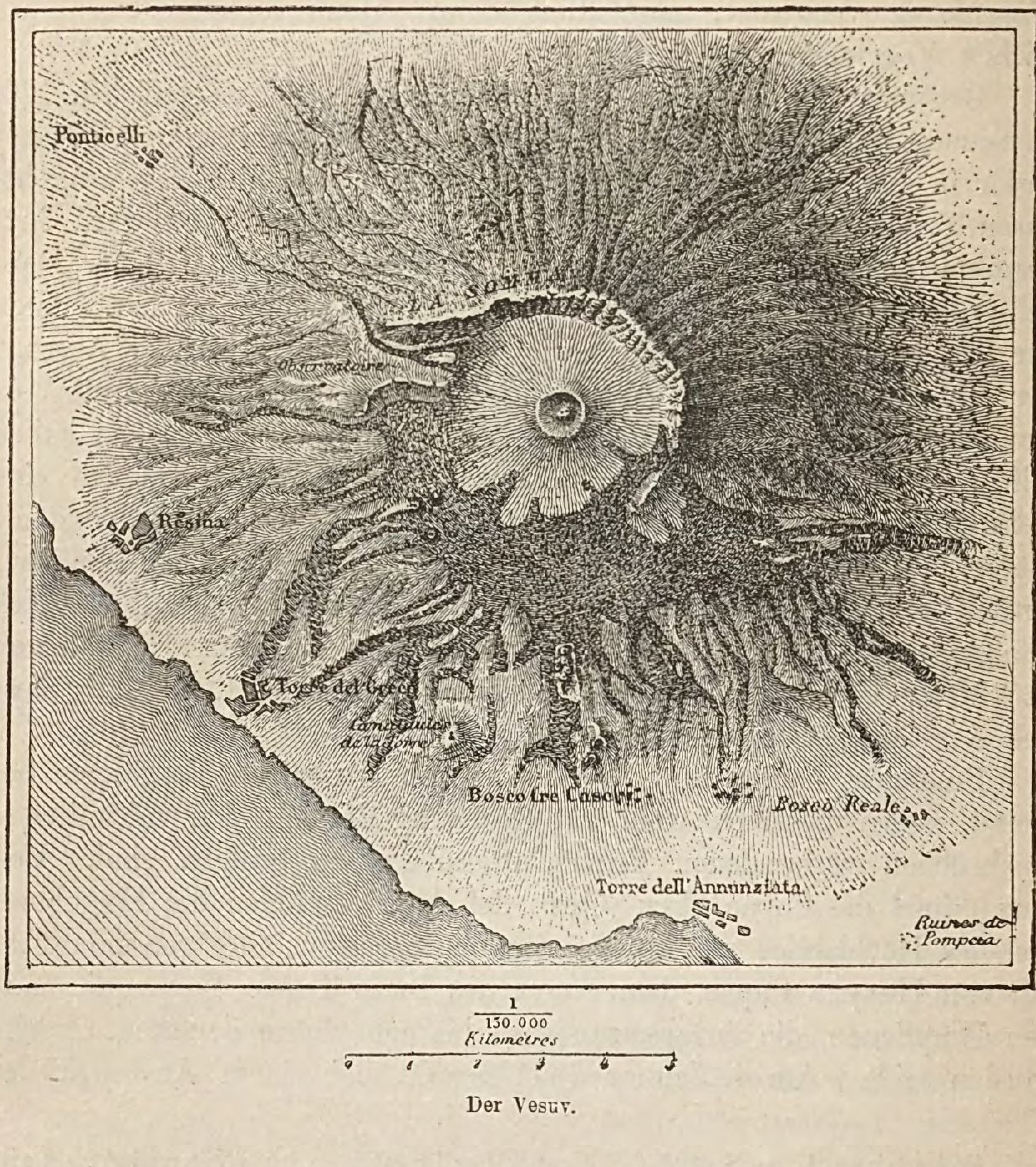
[1]) Fuchs, l. c. S. 107 f. Nach Moriz Wagner (Naturwissenschaftliche Reisen im tropischen Amerika. Stuttgart 1870. S. 453), der den Ilinissa bestieg, ist die südliche Spitze desselben kein wirklicher Vulcan, da sich in den höheren Regionen auch keine Spur von einer früheren kraterischen Thätigkeit, nichts von vulcanischer Asche, von Lapillis und Lavaströmen findet.

[2]) Fuchs, l. c. S. 341 f.

[3]) A. v. Humboldt, Kosmos. Bd. IV, S. 284.

Yriga (in der Provinz Camarínes auf Luzon) dessen Krater zur einen Hälfte total vernichtet, wobei der malerisch gelegene Buhi-See in 92 Meter Meereshöhe entstand [1]). Der Vulcan Temboro auf Sumbava verlor durch eine gewaltige Eruption im Jahre 1815 1300 Meter an seiner Höhe, so dass er gegenwärtig nur noch 2760 Meter hoch ist. Ferner giebt Descloizeau an, dass der Hekla durch den Ausbruch im Jahre 1845 um 160 Meter niedriger geworden sei [2]).

Fig. 33.



Der Vesuv.

Bisweilen zieht die Eruption eines Vulcans auch die Zertrümmerung eines Nachbarvulcans nach sich. Am 18. Februar 1854 stürzte

[1]) F. Jagor, Reisen in den Philippinen. Berlin 1873. S. 109.
[2]) Fuchs, l. c. S. 50. 119.

bei einem Ausbruch der Kliutschewskaja Sopka plötzlich der Gipfel des nahen Schiwelutsch zusammen, und der Vulcan Unsen (auf der japanischen Insel Kiu-Siu) erlitt im Jahre 1793 nach heftiger Erderschütterung ein gleiches Schicksal zu derselben Zeit, als der Biwono Kubi (ebenfalls auf der genannten Insel) von neuem eine lebhafte Thätigkeit entwickelte [1]).

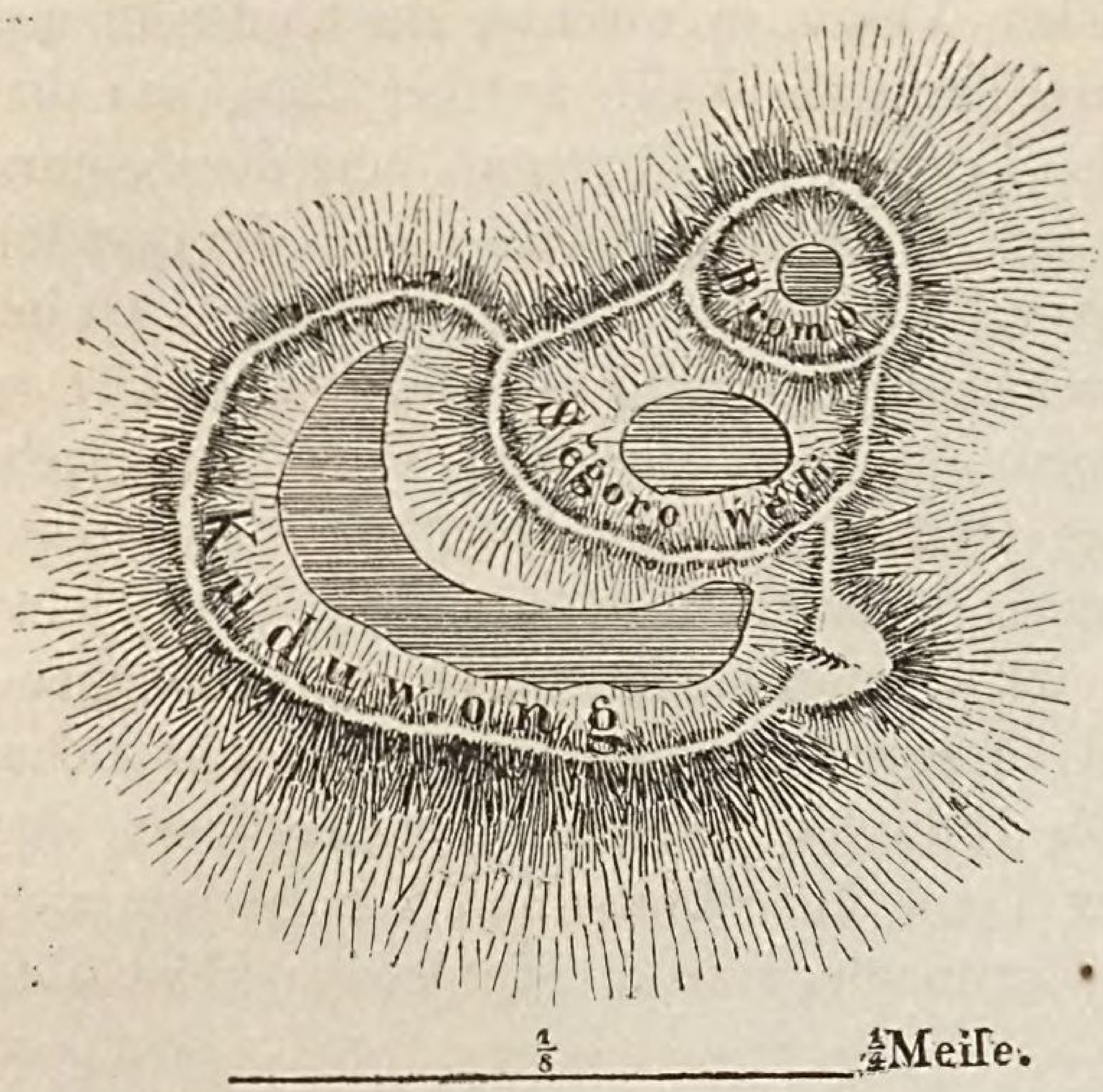
Besonders leicht zu messen sind die Veränderungen, welche sich an dem inneren Schlackenkegel des Vesuvs vollziehen. Das Vesuvgebirge besteht nämlich nach oben hin aus zwei Bergen: aus einem südlichen Kopf, dem eigentlichen Vesuv, in welchem die Krateröffnung liegt, und aus einem halbkreisförmigen Wall, welcher diesen an der Nord- und Nordostseite umgiebt, dem Monte di Somma oder der Somma (Fig. 33). Diese wird durch ein sichelförmiges Thal (Atrio del cavallo) von dem eigentlichen Vesuvkegel geschieden. Da die Somma jetzt im wesentlichen in gleichem Niveau über dem Meeresspiegel verharrt, so gewährt sie uns jederzeit einen Massstab, die Höhe des Vesuvkegels zu bemessen. Bis zum Jahre 1822 wurde die 1114 Meter hohe Spitze der Somma von dem centralen Schlackenkegel um etwa 130 Meter überragt. Die Eruption am 22. October 1822 führte den Zusammensturz des Kegels herbei, und an seiner Stelle entstand eine 260 Meter tiefe Höhlung. Von 1827 bis 1830 bildete sich ein neuer Kegel, der zuletzt 50 Meter hoch über den alten Kraterrand der Somma sich erhob, 1831 jedoch abermals vernichtet ward. Die jetzige Höhe des Vesuvs beträgt 1269 Meter.

Verstopft sich der alte Eruptionscanal und bahnen sich die vulcanischen Kräfte dafür an dem Rande oder an den äusseren Abhängen des Kraters einen neuen Ausweg, so verfällt der alte Krater mehr und mehr, d. h. er erweitert und verflacht sich beständig, da die ihn zusammen setzenden Gesteinsmassen zerbröckeln. An der Oeffnung des neuen Ausganges aber wird ein neuer Schutt- und Aschenkegel aufgebaut; Lavamassen ergiessen sich über denselben, und gar bald überragt derselbe den alten Einsturzkrater, während dieser durch einen weit grösseren Durchmesser vor jenem ausgezeichnet ist. Wird auch der zweite Canal untauglich und suchen sich in Folge dessen die vulcanischen Gewalten nochmals einen neuen Pfad, um nach oben zu gelangen, so ereilt auch den zweiten jüngeren Stratovulcan das Schicksal des ersten, und in ähnlicher Weise kann sich derselbe Process noch mehrfach wiederholen. Im allgemeinen gilt das Gesetz, dass unter mehreren neben einander liegenden Einsturzkrateren die am weitesten geöffneten die niedrigsten und zugleich die ältesten sind. Namentlich

[1]) Fuchs, l. c. S. 325.

lässt sich dann das relative Alter sehr leicht bestimmen, wenn die kreisförmigen Ringwälle sich gegenseitig stören; es ist in diesem Falle immer der durchbrechende Kranz jünger als der durchbrochene. Ein schönes Beispiel hierfür finden wir bei Junghuhn[1]): die Kratere des Gunung-Tĕnggĕr (Fig. 34). Man erkennt sofort, dass der äusserste und grösste von ihnen, der Kuduwong, der älteste ist, also zunächst aus- und aufgeworfen wurde, dass dann der zweite, weniger grosse, der G.-Sĕgoro-wĕdi, folgte, da er jenen zum Theil ausfüllt, und zuletzt erst der dritte und kleinste, der G.-Bromo, entstand. Auch im Albaner Gebirge beobachten wir ähnliche Gruppen von Krateren, in welchen sich zum Theil Seen finden. Vor allen Dingen aber ist die Mondoberfläche der Ort zahlreicher sich gegenseitig durchkreuzender Ringgebirge.

Fig. 34.



Die Kratere des Gunung-Tĕnggĕr auf Java.

Durch ihre Struktur wesentlich von den Stratovulcanen unterschieden sind die Maare. Sie besitzen keinen Schlackenkegel, haben auch nie Lavaergüsse gehabt; sie sind nur kesselartige Kratereinsenkungen, welche von einem niedrigen Walle, bestehend aus Tuff und Bomben, umschlossen sind. Ihre Umrisse sind meist kreisrund oder oval. Sind sie tief, so beherbergen sie häufig Seen; sind sie flach, so ist ihr Boden vielfach mit Torf bedeckt.

Ueber ihre Entstehung herrschen noch verschiedene Ansichten. Sie repräsentiren wahrscheinlich die ersten Anfänge von Vulcanen; sie sind embryonenhafte Gebilde, welche, kaum in das erste Stadium ihrer Entwicklung eingetreten, ihre Thätigkeit bereits wieder einstellten. Man denkt sich dieselben durch eine plötzliche, einmalige Explosion entstanden, indem sich hochgespannte Dämpfe oder Gase einen Aus-

[1]) Franz Junghuhn, Java, seine Gestalt, Pflanzendecke und innere Bauart. Bd. II, S. 605.

weg bahnten, die darüber liegende Decke zerrissen und das zertrümmerte Gestein in die Luft schleuderten. Deshalb bezeichnet man sie auch als Minentrichter oder Explosionskratere. Den Hauptbeweis dafür, dass die Maare das Endresultat gewaltiger Explosionen sind, gewähren uns die Tuff- und Steinbrockenlager an ihren Rändern, wie überhaupt die localen, mehr oder minder grossen Ansammlungen von feineren und gröberen Bruchstücken um die Maare herum. Da, wo die Tufffelder horizontal geschichtet erscheinen, muss ein Verwehen der Auswurfsproducte durch Orkane und Winde, und da, wo nur geringe Spuren von vulcanischem Sande vorhanden sind, eine Wegwaschung desselben durch die Atmosphärilien angenommen werden; gerade auf jene lockeren Massen konnte die überall thätige Erosion erfolgreich wirken.

Gegen die obige Anschauung über den Ursprung der Maare hat man folgenden Einwand geltend gemacht: Wären die Maare Explosionskratere, so müssten sich beispielsweise um diejenigen der Eifel aus Brocken des Schiefergebirges zusammengesetzte Wälle aufgehäuft haben, deren Rauminhalt demjenigen der ausgesprengten Terrainkegel völlig entspräche. Nach der früheren Ausfüllung des Hohlraumes forscht man jedoch häufig vergebens. Man hat deshalb die Maare auch auf Einstürze in unterirdische Hohlräume zurückzuführen versucht. Vogelgesang behauptet eine derartige Entstehung von den Maaren der Eifel, Fr. Hoffmann vom Albanersee und Junghuhn von den Maaren des G.-Lamongang auf Java. Mögen auch vielleicht einige Maare auf diesem Wege leichter erklärt werden, so erscheint doch diese Annahme nicht für ihre Gesammtheit passend. Das Vorkommen der Maare in lauter vulcanischen Gegenden, ihre regelmässige, runde Gestalt, die kreisförmigen Umwallungen aus eckigen Bruchstücken desjenigen Gesteins, in welches sie eingesenkt sind, sowie aus vulcanischen Aschen und Schlacken: dies alles weist darauf hin, dass sie die embryonischen Anfänge in dem Bildungsprocesse von Stratovulcanen bezeichnen.

Deutschland hat seine Maare im Gebiet der Eifel, namentlich in der Nähe des Laacher Sees, der von manchen selbst für ein Maar gehalten wird. Die bekanntesten sind das Pulvermaar bei Gillenfeld, die Maare bei Daun, Meerfelden, Walsdorf, das Ulmer und Moosbrucher Maar, die beiden Maare von Boos u. a. Ferner finden sich zahlreiche Maare auf dem Plateau der Auvergne. Im Albanergebirge erfüllen die reizenden Seen von Albano und von Nemi Maare. Aber auch die aussereuropäischen Erdtheile besitzen ihre Maare; denn sie kommen auf den canarischen Inseln, insbesondere aber auf Java und Neuseeland in reicher Menge vor.

Die Thätigkeit der Vulcane ist keine gleichmässige; viel-

mehr wechseln Perioden grosser Aufregung mit Perioden vollständiger Ruhe ab. Es sollen nun in dem Folgenden diejenigen Erscheinungen dargestellt werden, welche zur Zeit der höchsten Kraftentfaltung vulcanischer Thätigkeit, d. h. zur Zeit der Eruption zu beobachten sind.

Um den Wirkungen vulcanischer Ausbrüche schon im Voraus begegnen zu können, hat man von jeher darauf geachtet, die Vorzeichen zu ermitteln, durch welche sich der Ausbruch eines Vulcans ankündigt. Häufig haben dieselben nur eine locale Geltung; in keinem Falle aber sind sie untrügliche Vorboten einer Eruption.

Eines der sichersten und allgemeinsten Merkmale eines nahenden Ausbruches sind die Erdbeben, namentlich dann, wenn der Vulcan bis dahin vollkommen ruhig war und die Stösse in immer kürzeren Perioden wiederkehren. Hiermit ist gewöhnlich ein eigenthümliches Geräusch verbunden, ein dumpfes, unheimlich klingendes Rollen und Dröhnen, welches wahrscheinlich eine Folge der Erderschütterungen ist. Doch fehlen auch öfter diese Andeutungen. Die gewaltige Eruption des Vesuvs im Jahre 1855 kam ganz unvermuthet; ebenso geben sich die Ausbrüche des Mauna Loa meistens nicht durch Erdbeben zu erkennen. Sogar die grosse Eruption desselben am 11. August 1855 vollzog sich in dieser Weise [1]).

Das Versiegen der Brunnen erwies sich am Vesuv durchaus nicht als ein sicheres Anzeichen für eine bevorstehende Eruption; denn nicht selten blieben die Quellen aus, ohne dass ein Ausbruch erfolgte, und wiederum fanden Ausbrüche statt, ohne dass eine Aenderung im Wasserstande der Brunnen bemerkt wurde. Trifft beides zusammen, so ist das Verschwinden des Wassers jedenfalls der vermehrten Spaltenbildung, den eintretenden Verwerfungen oder auch der gesteigerten Hitze in den Tiefen zuzuschreiben, welche letztere das Wasser in Dampfform verwandelt und durch neue Oeffnungen nach oben drängt. Auch nehmen kurz vor Beginn der Katastrophe bisweilen reine Quellen plötzlich fremde Stoffe in sich auf.

Die wichtigsten Vorboten vulcanischer Eruptionen sind ohne Zweifel die Veränderungen, welche sich auf dem Grunde des Kraters vollziehen. Dieser wird nämlich meistens kurz vor dem Ausbruche gehoben, wodurch die Tiefe des Kraters eine Verminderung erfährt. So bestieg Leopold v. Buch unter den Anzeichen eines neuen Ausbruches im August 1804 den Vesuv und ermittelte für den Kraterboden eine Tiefe von 130 Metern unter der niedrigsten Stelle des Randes; doch war er 14 Tage später schon soweit gestiegen, dass die Lava über den Scheitel des Kraters hinwegfliessen konnte. Nach der hef-

[1]) Petermann's Mittheilungen 1858, S. 237.

tigen Eruption des Vesuvs von 1822 fand Babbage den Boden des Kraterbeckens 286 Meter unter der Punta del Palo, der höchsten, nordwestlichen Spitze des Vesuvs, 140 Meter unter dem tiefsten Ausschnitt des Kraterwalles. 1830 lag er noch 195 Meter unter der Punta del Palo und 50 Meter unter dem tiefsten Ausschnitt. 1832 trat die Lava wieder über den Rand aus.

Da vor einer Eruption die Gesteinsmasse des Berges stark erhitzt wird, so erfolgt nicht selten da, wo Vulcane in die Region des ewigen Schnees emporragen, kurz vor dem Eintritt der Eruption ein gänzliches Abschmelzen der Schneedecke. Dieses Warnungszeichen vor einem Ausbruche gewähren namentlich die Vulcane von Kamtschatka, Island und theilweise von Südamerika. Doch finden bisweilen auch Eruptionen statt, ohne dass die Schneeumhüllung von den Häuptern der betreffenden Berge weicht.

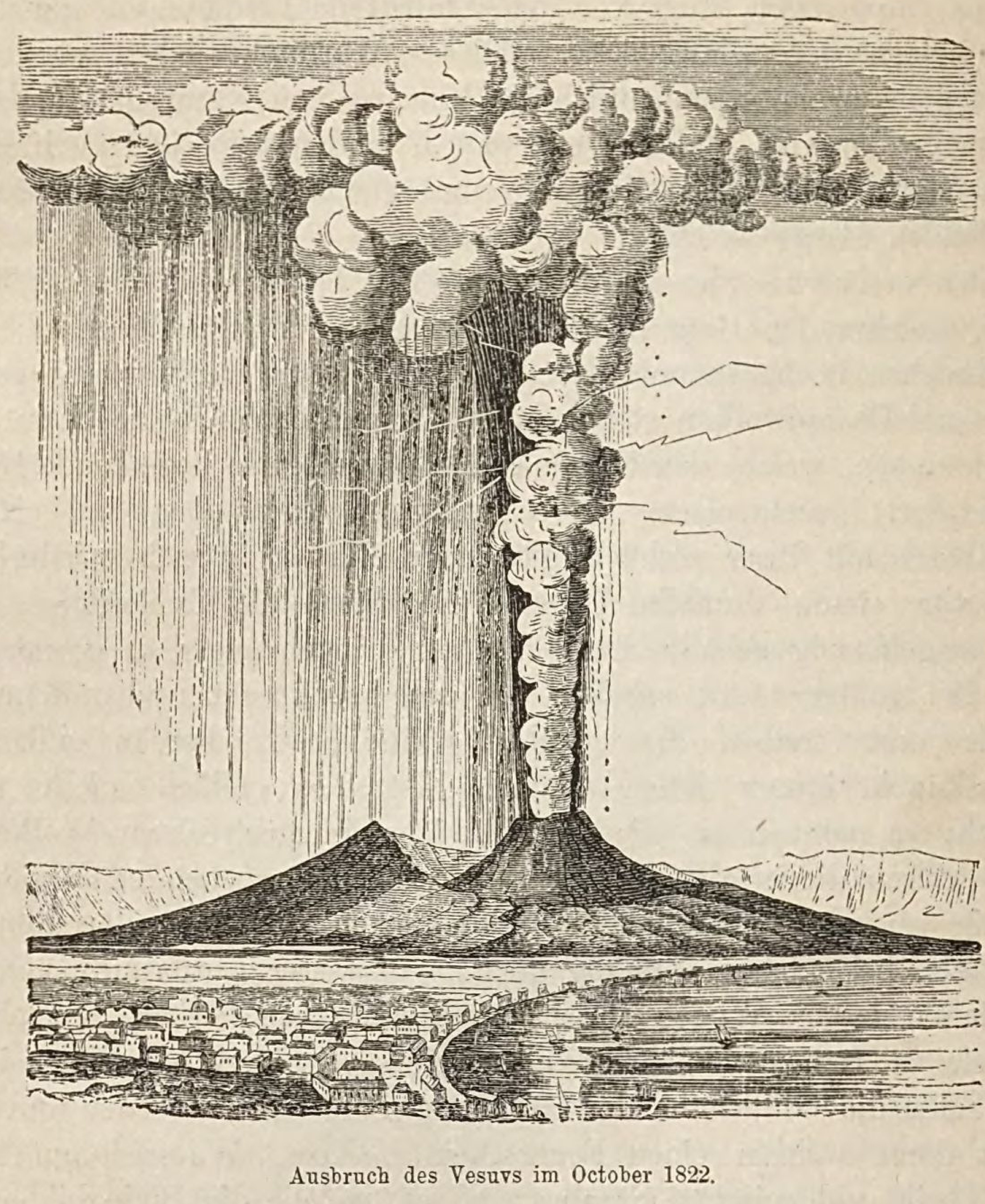
Der vulcanische Ausbruch selbst beginnt mit einem heftigen Stosse, welcher den Berg mächtig erschüttert. Mit furchtbarer Gewalt durchbrechen hochgespannte Dämpfe und Gase die Decke im Eruptionscanal, und Dampfwolken steigen zum Himmel empor. Die Stein- und Aschenmassen, welche den Krater erfüllen, werden in bedeutende Höhen geschleudert; geschmolzene Laven gelangen nach oben und erfüllen den Krater mit ihrer röthlich glühenden Masse. Rasch wiederholen sich, von einem dumpfen Dröhnen begleitet, die Explosionen, und neue, kugelförmig geballte Dampfmassen dringen aus dem Krater empor. Bei ruhiger Luft erheben sie sich senkrecht und mit grosser Gewalt und treiben die darüber befindlichen, bereits sinkenden Dampfkugeln immer höher hinauf. Ist dies endlich nicht mehr möglich, so nehmen sie die Gestalt einer langgestreckten Wolke an, welche durch die in den oberen Luftregionen herrschenden Winde oft einseitig verweht wird und die mitgeführten Stoffe an den Rändern der Säule, bei starkem Luftzug auch in grösserer Entfernung von ihr, herabfallen lässt. Wegen ihrer charakteristischen Gestalt bezeichnete man sie in Italien von jeher als Pinie (s. Fig. 35). Sie spiegelt des Nachts die Gluthröthe der Lavamassen im Krater wieder und verbreitet dann weithin einen Feuerschein. Gase, Wasserdämpfe und feine Theile vulcanischen Staubes sind es, welche die Pinie bilden.

In Folge heftiger Bewegung zeigen sich in der vulcanischen Wolke die elektrischen Erscheinungen in ebenso grossartigem Massstabe entwickelt wie in den Gewitterwolken. Blitze durchzucken die Luft, und immerwährende Donner begleiten den heftigen, wolkenbruchartig herabstürzenden Gewitterregen, der oft mehr Schaden anrichtet als die ausgeworfenen Aschen und Schlacken. Bäche und Flüsse, die vorher nicht bestanden, stürzen sich eilenden

Laufes die Abhänge des Vulcans hinab und schaffen tiefe Rinnen und Gräben.

Endlich ermattet die Macht der hervordringenden Dämpfe, und das benachbarte Erdreich ist vollständig wieder ausgetrocknet: da entquillt einer Seitenspalte ein Lavastrom und wälzt sich, die Gefilde wie die Wohnstätten der Menschen verheerend, die Abhänge des Berges

Fig. 35.



Ausbruch des Vesuvs im October 1822.

hinab. In der Regel ist damit die furchtbarste Gewalt der Eruption gebrochen.

Uebrigens nehmen die Eruptionen nicht immer den geschilderten, Schrecken und Verderben um sich verbreitenden Verlauf; vielmehr fehlt hierbei öfter das eine oder andere der geschilderten Phänomene; ja, manche vollziehen sich sogar in äusserst friedlicher, fast harmloser Weise.

Wasserdämpfe sind als die Hauptkraft zu betrachten, durch welche die vulcanischen Thätigkeiten hervorgerufen werden. Wasserdämpfe zersprengen die Bodendecke des Kraters; sie heben die Lava im Eruptionscanal; sie treiben die vulcanischen Aschen und Schlacken in die Höhe und veranlassen die fürchterlichen meteorologischen Processe. Wasserdämpfe verleihen der Lava ihre blasige Structur, wenn die Erstarrung unter geringem Druck erfolgt und erzeugen auch die kleinen, secundären Eruptionen auf den Lavaströmen (s. S. 223 f.); endlich fehlen sie auch im Zustand der temporären Ruhe niemals den Vulcanen.

Die Rauchsäule, welche über dem Krater eines thätigen Vulcans aufsteigt, verwandelt sich des Nachts in eine von helleren, glühenden Streifen durchzogene Feuersäule. Sie ist sicher keine wirkliche Flamme, da sie niemals eine züngelnde Bewegung zeigt und durch keinen Sturmwind aus ihrer Ruhelage gebracht wird. Sie entsteht vielmehr durch Reflexion der Lavagluth im Innern des Kraters an den Millionen von Dampfbläschen der Rauchsäule; auf dem Dunkel der Nacht hebt sich dieser Widerschein in auffallender Weise ab. Die glühenden Aschen und Schlacken tragen jedenfalls auch dazu bei, den Lichteffect zu erhöhen. Demnach sollten die Ausdrücke „feuerspeiende Berge“ und „Feuerberge“ niemals gebraucht werden.

Wirkliche Flammen, von brennbaren Gasen herrührend, wurden von vielen Beobachtern, so von Sartorius v. Waltershausen, Jul. Schmidt, Spallanzani, Gay-Lussac u. a. gänzlich in Abrede gestellt; seitdem sie aber von Pilla und anderen Gelehrten wahrgenommen worden sind, darf an ihrem Vorkommen nicht mehr gezweifelt werden. Pilla sah am 2. Juni 1833 an der thätigen Bocca des Vesuvs eine 4 bis 5 Meter hohe violettrothe Flamme auflodern; doch brannte sie nur an den Rändern der Rauchsäule, also bloss in Berührung mit der Luft. Ein Geruch nach Schwefelwasserstoff war deutlich bemerkbar. Auch im Juni und August 1834 beobachtete Pilla am Fusse des Vesuvs kleinere und grössere Flammen. Abich entdeckte hier Flammen in demselben Jahre und Forbes im Jahre 1844 [1]. Endlich zeigten sich auch wirkliche Flammenerscheinungen bei den vulcanischen Ausbrüchen auf Santorin am 30. Januar 1867. Eine an Ort und Stelle vorgenommene Untersuchung ergab, dass die entzündbaren Blasen eine Gasmischung enthielten, in welcher die Kohlensäure in grossem Verhältniss vertreten war und deren Verbrennbarkeit dem Kohlenwasserstoffgas zugeschrieben werden musste [2]. Die Ursache der Flammenbildung sind wohl meistens die entströmenden Wasserstoff- und Schwefelwasserstoffgase. Andere Gase mögen hier-

[1] Fuchs, l. c. S. 295 ff.
[2] Ausland 1867, S. 883.

bei mit betheiligt sein; doch sind nur die genannten allgemein und mit Sicherheit an derartigen Stellen nachgewiesen worden.

Das Eruptionsmaterial der Vulcane ist in Beziehung auf Form und Grösse ausserordentlich verschieden. Die sogenannte vulcanische Asche ist das feine, bald hell-, bald dunkelgraue Material, das theils durch die Reibung der auf- und niederfliegenden grösseren Schlacken und Lapilli, theils durch Dampfexplosionen im Krater entsteht, durch welche die Lava in die feinsten Theile zerstiebt. Daher ist die vulcanische Asche aus derselben Gesteinsmasse zusammen gesetzt wie die Schlacken und Laven. Sie verleiht der Rauchsäule ihre dunkle Farbe und steigt ebenso hoch empor wie diese (im Maximum gegen 3250 Meter, wie bei dem Ausbruch des Vesuvs im Jahre 1822). In Folge ihrer Feinheit wird sie vom Winde oft weithin getragen: so vom Vesuv im Jahre 512 bis Constantinopel und Tripolis und am 3. März 1755 bis Calabrien. Dabei ist die Aschenmenge oft so ungeheuer, dass sie den Tag in vollkommene Nacht verwandelt und bei ihrem Niederfall die umliegenden Landschaften weithin mit einer dicken Aschenkruste überzieht.

Durch die Dampfexplosionen im Eruptionscanal werden ferner grössere oder kleinere Lavaklumpen in die Luft geschleudert; sie erstarren während des Flugs gewöhnlich zu verdrehten und gewundenen Schlackenstücken (als vulcanische Bomben oder Thränen in Italien bezeichnet), welche bald rauh und schwammig erscheinen, bald mit einer verglasten oder emailartigen Kruste versehen sind (s. S. 210). Scheibenförmige Gestalt nehmen sie an, wenn sie noch als glühend-flüssige Massen zu Boden fallen. Kleinere Schlackenbrocken von theils runder, theils eckiger Form werden von den Neapolitanern Lapilli (auch Rapilli) genannt: ein Name, der später allgemein geworden ist. Selten erlangen die ausgeworfenen Lavastücke eine Grösse von 1 oder gar von 3 Meter Durchmesser. Die Höhe, welche die Schlacken erreichen, bleibt natürlich weit hinter derjenigen der vulcanischen Asche zurück; sie beträgt, von der Höhe des Kraters aus gerechnet, im Mittel am Vesuv 350, am Aetna 800 Meter. Auch werden sie selbstverständlich nicht so weit verstreut wie die feinen Aschentheilchen. Aus der Mitte der Krateröffnung steigen die Schlacken gewöhnlich senkrecht empor und kehren, wenn sie nicht durch Anprall an andere aus ihrer Bahn abgelenkt werden, in den Krater zurück; die an der Seite sich erhebenden aber beschreiben Parabeln und stürzen auf dem äusseren Kraterabhang oder in noch grösserer Entfernung von ihrem Ausgangspunkt zu Boden.

Aus den genannten vulcanischen Auswurfsmassen, wie Aschen, grösseren und kleineren Schlacken, entstehen unter Beihilfe des bei

Eruptionen reichlich fliessenden Wassers vulcanische Schlammmassen, die bei ihrer Verhärtung zu vulcanischen Tuffen und Conglomeraten werden. Herculanum ist z. B. im Jahre 79 n. Chr. durch Schlammströme, nicht durch feurige Lavaströme oder Aschenregen untergegangen. Vier Tage lang hielt der Sand- und Aschenfall an, mit welchem sich Regengüsse zur Entwicklung von Schlammströmen vereinigten. Die flüssigen Schlammmassen erfüllten alle Räume der Häuser und umschlossen selbst Menschen und Thiere, deren Skeleten man sammt den Körperabdrücken in den zu Tuff verhärteten Schichten begegnet. Erst bei einem späteren Ausbruche des Vesuvs ergoss sich noch ein Lavastrom über die Stätte von Herculanum. Wir erwähnen hierbei, dass Pompeji unter einer Decke loser Eruptionsproducte begraben ist, die vielfach 3 bis 4 Meter über die höchsten Gebäude der Stadt hinausragt; Schlammströme scheinen hier nicht wirksam gewesen zu sein. — Bei unterseeischen Eruptionen verrichtet das Meerwasser die Dienste des fliessenden, und es entstehen so geschichtete vulcanische Tuffe.

Nicht bloss als Aschen, Lapilli und Bomben, sondern vor allem als Ströme treten die Laven aus dem Krater der Vulcane hervor. Diese Ströme wälzen sich an den Gehängen derselben abwärts und bilden später abgekühlt eine ausserordentlich harte Masse. Der Begriff der Lava schliesst keine bestimmte Gesteinsart in sich; denn „Lava ist (nach Leopold v. Buch) alles, was im Vulcane fliesst und durch seine Flüssigkeit neue Lagerstätten einnimmt.“ Doch stimmt sie hinsichtlich ihrer mineralischen Zusammensetzung fast stets mit denjenigen Gesteinen überein, welche den Familien der Basalte und Trachyte angehören. Ein Vulcan entsendet übrigens nicht immer dieselbe Lavaspecies, sondern wechselt dieselbe im Laufe grösserer Perioden. Gewöhnlich pflegen dann basaltische Laven den Trachytlaven zu folgen; doch begegnet man nicht selten auch der umgekehrten Ordnung.

Von Wichtigkeit ist besonders die Thatsache, dass die feurigflüssige Lavamasse Wasser gebunden enthält, welches erst bei ihrer Erstarrung allmählich in Dampfform entweicht. So lange sich also die Laven im Eruptionscanale befinden, sind sie in einem Zustande wässeriger Schmelzung. Bei der hohen Temperatur von ungefähr 2000 ⁰ C., welche die ausfliessende Lava besitzt, ist derselbe nur unter dem ungeheuren Druck bis zur Weissgluth überhitzter Wasserdämpfe denkbar. Auf dem Vorhandensein derselben beruht auch die poröse Textur der meisten Laven. Die Dampfentwicklung verursacht manchmal selbst nach oberflächlicher Erstarrung der Lavamasse kleine Eruptionen

auf derselben, wodurch 3 bis 6 Meter hohe Schlackenkegel oder Schlackenschornsteine gebildet werden [1]).

Während die Oberfläche eines Lavastromes sehr rasch erkaltet und zu einer schlackenartigen Rinde erstarrt, kann man durch Spalten im Innern noch lange Zeit die glühend-flüssige Masse sehen. Nur in einzelnen Fällen kühlt sich die Lavamasse rasch ab. So war der Strom, welcher sich im August 1832 aus dem Vesuv ergoss, schon am 17. October desselben Jahres vollständig erkaltet [2]). Oft aber ist die Lava 20, 30, selbst 40 und mehr Jahre nach dem Ausbruche noch glühend oder wenigstens stark erhitzt. Das berühmteste Beispiel für ein langes Zurückhalten der Hitze liefern die Laven des Jorullo. Die ungeheure, stellenweise bis gegen 160 Meter mächtige Lavamasse, welche diesen Berg umgiebt, rauchte noch 45 Jahre nach ihrem Ausflusse, als A. v. Humboldt sie im Jahre 1804 untersuchte. Ja sogar nach weiteren 23 Jahren, also 68 Jahre nach ihrem Hervortreten, fand sie der englische Reisende Bullock noch rauchend [3]). Dieser Umstand erklärt sich daraus, dass die Wärmeleitungsfähigkeit der erstarrten Lava, welche wie ein Panzer die unter ihr fliessende Lava gegen Ausstrahlung schützt, eine sehr geringe ist und dass die ausgestrahlte Wärme theilweise durch die bei der Krystallisation frei werdende ersetzt wird.

Nur bei günstigem Verlauf steigt die Lava in dem Eruptionscanale hoher Vulcane so weit empor, dass sie den Krater erreicht und über dessen Rand sich hinweg ergiesst. Je mehr sich die Lavasäule erhebt, desto heftiger wird sie gegen die Wände des Eruptionscanals gepresst. Ist nun hier in Folge der vorausgehenden Erschütterungen irgendwo eine Spalte entstanden, so drängt sich die Lava durch dieselbe hindurch und tritt demnach an einer Stelle unterhalb des Gipfels zu Tage. So ist am grossen Ararat wahrscheinlich nie ein Lavastrom aus der Spitze hervorgekommen, sondern immer nur aus den Gehängen unterhalb der Schneegrenze. Ueberragt dabei die Lava im Eruptionscanal den Austrittspunkt, so übt der über demselben befindliche Theil der Lavasäule einen Druck auf die Lava in der Ausflussmündung aus, und diese wird mit grosser Gewalt hervorgetrieben. Der Lavaspringquell am Mauna Loa bei dem Ausbruch desselben im Jahre 1852 soll sogar eine Höhe von 100 Metern besessen haben. Manchmal brechen die Laven auch aus mehreren Oeffnungen gleich-

[1]) J. Hann, F. v. Hochstetter und A. Pokorny, Allgemeine Erdkunde. Prag 1872. S. 129.

[2]) Fuchs, l. c. S. 311.

[3]) Heinrich Berghaus, Allgemeine Länder- und Völkerkunde. Stuttgart 1837. Bd. II, S. 596 f.

zeitig hervor. Liegen dieselben in verschiedener Höhe, so dient natürlich die unterste am längsten dem Lavaerguss. An der Somma sind vielfach durch Lava ausgefüllte Klüfte als Gänge sichtbar. Verwittert das Nachbargestein derselben, so bleiben mauerartige Lavabänke stehen, welche man auf Island mit dem Namen Teufelsmauern bezeichnet.

Eine Regel, die nicht streng gilt, sich aber doch in der Mehrzahl der Fälle bewährt hat, lautet: Je höher Vulcane sind, um so seltener erfolgen Lavaergüsse, um so bedeutender aber sind ihre Aschenerup-tionen. Es lässt sich dies leicht erklären; denn die Dämpfe bedürfen bei hohen Vulcanen einer viel grösseren Spannkraft, um die grössere Lavasäule bis an die Oberfläche zu heben, und ferner wächst mit der Höhe auch der Umfang der Berge, damit aber zugleich die Unwahrscheinlichkeit, dass der Druck der Lavamassen mächtig genug ist, diesen einen Ausweg zu verschaffen. So haben die hohen Vulcane Quito's mit Ausnahme des Antisana und Sanguay seit Menschengedenken keinen Lavastrom entsendet. Dasselbe gilt von dem hohen Popocatepetl in Mexico. Zu den Vulcanen, welche der Lavaergüsse gänzlich entbehren, gehören die Soufrière auf Guadeloupe, der Maypo in Chile, die Tolbatschinskaja Sopka und der Schiwelutsch auf Kamtschatka. Ferner sind Lavaströme an den Vulcanen Java's aus historischen Zeiten zweifelhaft oder jedenfalls sehr selten; der Gunung-Merapi ist einer der wenigen der dortigen Vulcane, welcher durch ein paar mächtige vorhistorische Lavaergüsse ausgezeichnet ist. Unter den kleinen Vulcanen sind besonders diejenigen ohne Lavaergüsse, welche neben zahlreichen anderen vorkommen und wahrscheinlich nur kurze Zeit thätig waren, wie manche Kegel in der Eifel, der Auvergne und den phlegräischen Feldern; auch der schon genannte Monte nuovo ist hierher zu zählen.

Den Perioden gesteigerter vulcanischer Thätigkeit, wie wir sie oben zu schildern versucht haben, folgen gewöhnlich Perioden der Ruhe, welche den thätigen Vulcanen den Charakter der erloschenen aufprägen. Nur selten äussern sich dann die vulcanischen Kräfte durch Detonationen, Auswürfe von Bomben, sowie durch ein Aufwallen der gluthflüssigen Lava innerhalb des Kraterschlundes, um so häufiger aber durch Entwicklung von verschiedenartigen Gasen und Dämpfen. Mächtige Dampfmassen erfüllen nicht selten die Kratereinsenkungen und erheben sich, eine weisse Säule oder ein lichtes Gewölk bildend, über dieselben. Häufig strömen die Dämpfe nicht bloss aus dem Eruptionscanal aus, sondern aus allen Rissen und Spalten, und das Ohr vernimmt überall ein lebhaftes Zischen und Pfeifen. Je nach der Qualität der ausgehauchten Dämpfe und Gase führen diese Exhalationen verschiedene Namen.

Senden Gasquellen vorwiegend Wasserdampf aus, so heissen sie Fumarolen. Meist hauchen jedoch nur diejenigen Fumarolen reine Wasserdämpfe aus, welche sich in der Umgebung eines Vulcans befinden, seltener die, welche dem Abhang des Berges angehören, am seltensten aber diejenigen, welche aus dem Krater emporsteigen; letztere reagiren gewöhnlich sauer. Sie enthalten häufig und zwar in sehr veränderlicher Menge Salzsäure, Schwefelwasserstoff, schweflige Säure, Kohlensäure und Stickstoff. Manchmal ist die Säure kaum wahrzunehmen; oft aber sind die Wasserdämpfe so sehr mit Salzsäure, Schwefelwasserstoff und schwefliger Säure beladen, dass des scharfen, stechenden Geruches wegen eine Annäherung unmöglich ist. Ausserordentlich reich an Fumarolen sind Island (besonders das Geysirgebiet), Java (namentlich die Abhänge des G.-Guntur und des Papadayang), die Nordinsel von Neuseeland (hauptsächlich das Gebiet zwischen dem Taupo-See und der Ostküste) und Mittelitalien (die Insel Ischia, der Vesuv u. a. O.).

Eine Gasquelle, welcher vorzugsweise Schwefelwasserstoff, Schwefeldämpfe oder schweflige Säure entströmt, bezeichnet man als Solfatara: ein Wort, welches ursprünglich nur einem Schwefelkrater bei Pozzuoli zukam und so viel als Schwefelgrube bedeutet. Diese Solfatara ist ein alter vulcanischer Krater, dem im Jahre 1198 zum letzten Male Lava entquoll. Die vulcanischen Gebiete von Island, von Java und Neuseeland besitzen viele Solfataren.

Schwefelwasserstoff und schweflige Säure bilden sich nicht selten gleichzeitig an einem Vulcane. Es ist dies besonders deshalb von Wichtigkeit, weil sich hier zwei Aequivalente Schwefelwasserstoff mit einem schwefliger Säure zu zwei Aequivalenten Wasser und drei gediegenen Schwefels zersetzen. Wird darum in einem Eruptionscanale sowohl Schwefelwasserstoff als auch schweflige Säure erzeugt, und zwar in dem Verhältniss von zwei Aequivalenten zu einem, so zerstören sie sich sofort gegenseitig, wenn sie sich treffen. Daher nimmt man auch nie beide gleichzeitig an derselben Oeffnung wahr, sondern nur dasjenige von ihnen, welches in grösserer Menge vorhanden ist. Sie verwandeln überdies die trachytischen Kraterwände in einen bröckeligen Grus und bewirken an den Rändern des Exhalationsschlundes die Ablagerung gelblicher Incrustate von Schwefel.

Auch Aushauchungen von Kohlensäure folgen häufig vulcanischen Eruptionen. Den Oeffnungen, aus welchen sie hervorbrechen, hat man den Namen Mofetten gegeben: eine Bezeichnung, welche ursprünglich nur in der Gegend von Neapel für die Kohlensäuregas-Quellen gebräuchlich war. Wegen ihres hohen specifischen Gewichts sammelt sich die Kohlensäure unmittelbar über der Erdoberfläche, wodurch sie

dem Thierleben um so verderblicher wird, als keinerlei Anzeichen vor ihr warnen. Alle Thiere, welche sich in den Bereich einer Mofette wagen, werden rasch getödtet; Fackeln, welche man in dieselbe taucht, erlöschen. Zu den bekanntesten Mofetten gehören die Hundsgrotte am Lago di Agnano in den phlegräischen Feldern bei Neapel und das Todesthal auf Java (ein trichterförmiger Kessel, der nach Junghuhn durch Einsturz entstanden ist). Auch im Gebiet der Eifel kommen Mofetten häufig vor, ferner in der Wetterau, im Taunus, auf dem linken Ufer der Weser zwischen Carlshafen und Vlotho, in Böhmen (bei Marienbad), in der Auvergne und anderwärts.

Der Nachweis vieler ergiebiger Quellen, welche der Atmosphäre unaufhörlich Kohlensäure zuführen, ist wichtig zur Beantwortung der Frage, ob die Atmosphäre früher grössere Mengen dieses vegetabilischen Lebensgases enthielt oder nicht. Ohne Zweifel entströmen den meisten Mofetten ungeheure Quantitäten desselben. Eine der mittleren Gasquellen zu Marienbad in Böhmen liefert nach Heidler täglich 3600, also jährlich 1 314 000 Cubikfuss (123,6, resp. 45107,0 Cubikmeter) Kohlensäure[1]). Ferner entsendet nach G. Bischof's genauen Messungen eine Gasquelle bei Burgbrohl am Rhein täglich zwischen 4237 und 5650 Cubikfuss (145,4 bis 194,0 Cubikmeter) oder 538 bis 717 Pfund Kohlensäure, was jährlich 1 546 505 bis 2 062 250 Cubikfuss (53088,4 bis 70792,9 Cubikmeter) oder 196 370 bis 261 705 Pfund ausmacht[2]). Bedenkt man, dass sich diese Messungen nur auf einzelne Ausflusspunkte beziehen, während in manchen Gegenden dergleichen Punkte in sehr grosser Anzahl beisammen liegen, so gewinnt man erst den wahren Massstab für die Beurtheilung der aus dem Erdinnern alltäglich in die Atmosphäre emporsteigenden Kohlensäuremengen. Uebrigens empfängt die Luft ebenso bedeutende Quantitäten durch Verbrennung von Kohlen, Holz, Torf und durch Glühen von Kalkstein. Nach Péligot's Berechnung aus dem Jahre 1865 würde die Luft jährlich bei einem durchschnittlichen Gesammtbedarf von 133 Millionen Tonnen Steinkohlen auf der Erde durch diese Kohlensäure-Quelle allein nach der Verbrennung 304 Milliarden Cubikmeter Gas erhalten[3]). Findet nun auch in der Natur keine Vermehrung der Kohlensäure statt, was auch im Interesse des animalischen Lebens nicht zu wünschen ist, so ist doch bis jetzt ebenso wenig eine Abnahme zu verspüren. Production und Verbrauch scheinen sich nahezu zu decken.

[1]) Heidler, Pflanzen- und Gebirgsarten Marienbads. S. 170.

[2]) Gustav Bischof, Lehrbuch der chemischen und physikalischen Geologie. 2. Aufl. Bonn 1863. Bd. I, S. 688.

[3]) Karl A. Zittel, Aus der Urzeit. 2. Aufl. München 1875. S. 12.

Verhältnissmässig selten sind den Gasen der Fumarolen auch Salzsäure, Borsäure, Stickstoff und sogar Phosphor (letzterer den Fumarolen von Vulcano) beigemengt. Die Exhalationen des Phosphors sind besonders deshalb wichtig, weil derselbe im Haushalte der Natur eine bedeutsame Rolle spielt.

In der räumlichen und zeitlichen Anordnung der Fumarolen herrschen gewisse, allerdings nicht überall klar hervortretende Gesetze. Die wichtigsten derselben lauten: Chemisch gleichartige Emanationen an demselben Vulcan sind gewöhnlich um so wärmer, je mehr sie sich dem vulcanischen Heerde nähern. Ferner liefern dieselben Fumarolen nicht zu allen Zeiten dieselben Gase. In den meisten Fällen entwickeln sich nach einer Eruption zuerst schweflige Säure und Schwefelwasserstoff, für welche allmählich die Kohlensäure eintritt [1]).

Die Frequenz der vulcanischen Eruptionen zeigt nach keiner Hinsicht irgend welche Regelmässigkeit. Manche Vulcane verharren Jahrhunderte lang in dem Zustand der Ruhe; andere hingegen sind fast unablässig in Action, und innerhalb dieser Extreme begegnen wir allen nur denkbaren Zwischenstufen. Und wie die Eruptionen verschiedener Vulcane in Zeiträumen von jedweder Länge auf einander folgen, so auch die Eruptionen eines und desselben Vulcans.

Der thätigste unter den europäischen Vulcanen ist der Stromboli. Soweit die Geschichte zurückreicht, stösst er beständig seine Schlackengarben aus und erweist sich so in jeder Nacht als ein vorzüglicher Leuchtthurm. Jeder Dampfschiffreisende, der sich auf dem Wege von Neapel nach Messina oder Palermo befindet, erblickt von weitem das Schauspiel einer Eruption. Der am 23. Februar 1770 entstandene Izalco (8 geogr. Meilen nördlich von San Salvador, Centralamerika) ist seit jener Zeit in ununterbrochener Thätigkeit geblieben. Er hat vier feurige Eruptionen in der Stunde und dient den Schiffern bei der Landung in der Bay von Acayutla als Leuchtthurm [2]). Ebenso hat der Vulcan von Sangay in Quito in jeder Viertelstunde feurige, des Nachts weithin leuchtende Schlackenauswürfe. Das herrliche Phänomen, das er jetzt darbietet, scheint erst im Jahre 1728 begonnen zu haben. Bei der astronomischen Gradmessung von Bouguer und Lacondamine (1738—1740) wurde der Sangay als ein stetiges Feuersignal benützt [3]). Der Vulcan Sioa auf den Molukken und der Tofua auf den Freundschaftsinseln sind ebenfalls seit ihrer Entdeckung in

[1]) Fuchs, l. c. S. 265.

[2]) A. v. Humboldt, Kosmos. Bd. IV, S. 300.

[3]) l. c. S. 295, 301.

fortdauernder Eruption [1]). Endlich gehört hierher der Vulcan der Insel Tanna (Neue Hebriden). Alle 5 bis 10 Minuten schleudert er unter lautem, donnerähnlichem Getöse grosse Lavastücke in die Luft und zählt somit zur Classe der unaufhörlich thätigen Vulcane [2]).

Ferner giebt es Vulcane, welche nach einem heftigen Ausbruche nicht in den Zustand der Ruhe übergehen, sondern fort und fort eine ziemlich gleichmässige Thätigkeit entfalten. So ist der Asama-Yama in Japan seit der verheerenden Eruption von 1783 in beständiger Aufregung, ebenso der Alaïd (auf den Kurilen) seit seiner Eruption im Jahre 1793, der Papandayang auf Java seit 1772 und der Cotopaxi seit 1742.

Zu den trägen Vulcanen gehörte periodisch der Vesuv. Strabo, der zur Zeit Christi gelebt hat, bemerkt über den Vesuv: „Er zeigt spaltige Höhlen von russfarbigem Gestein, wie wenn es vom Feuer zerfressen wäre, so dass man vermuthen darf, diese Stelle habe ehemals gebrannt und Mündungen für das hervorbrechende Feuer gehabt; dieses sei aber erloschen, als der Brennstoff verzehrt war“ [3]). Doch vermag Strabo seine Annahme durch keine bestimmte historische Mittheilung zu unterstützen. Im Sclavenkriege soll Spartacus mit seinem 10000 Mann starken Sklavenheere in dem Krater des Vesuvs Schutz gesucht haben. Der Vesuv war damals bis zum Gipfel mit Bäumen bewachsen und besass oben ein grosses, flaches, mit wilden Reben und üppiger Vegetation bedecktes Kraterbassin. Am 23. und 24. August des Jahres 79 n. Chr. ereignete sich der erste historisch aufgezeichnete Auswurf von Aschen und Schlacken (Lavaergüsse fehlten wahrscheinlich), welcher den Untergang von Herculanum und Pompeji herbeiführte. Ferner werden Eruptionen vom Jahre 203, 473 und 512 ausdrücklich in den Annalen erwähnt. Im Mittelalter brachte fast jedes Jahrhundert eine oder zwei grosse Eruptionen, welche theilweise von bedeutenden Lavaergüssen begleitet waren; die grössten fallen in die Jahre 685, 993, 1036, 1039, 1138, 1139 und 1306. Von 1306 an begann abermals eine wohl mehr als drei Jahrhunderte umfassende Periode der Ruhe [4]). Graswuchs und Gebüsch erfüllten während dieser Zeit den Krater, und Eichen, Ulmen, Linden, Eschen und Kastanienbäume bildeten anmuthige Gruppen in seiner Umgebung. Die vulcanische Thätigkeit war fast ganz erloschen; nur

[1]) Fuchs, l. c. S. 84.

[2]) Meinicke in der Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin. Bd. IX (1874), S. 295.

[3]) Strabo, lib. V, p. 247 Casaub.

[4]) Ein Ausbruch vom Jahre 1500 ist noch nicht mit Sicherheit erwiesen.

an der Nordseite sandten einige schwache Fumarolen ihre kleinen Dampfsäulen in die Lüfte. Nun folgte der fürchterlich verheerende Ausbruch vom 16. December 1631, und von da an bis zur Gegenwart haben nahezu 50 grössere Eruptionen stattgefunden.

Das merkwürdigste Beispiel für ausserordentlich lang anhaltende Ruheperioden gewährt uns der Epomeo auf Ischia, welcher nach zuverlässigen Quellen in den Jahren 45 und 36 vor Christi Geburt Eruptionen hatte und von da an bis zum Jahre 1302 in Unthätigkeit verharrte. Mit dem Ausbruch von 1302 stellte er seine Thätigkeit für immer ein. Doch wäre es recht wohl denkbar, dass in kommenden Jahrhunderten für ihn wieder eine Periode grösserer Kraftentfaltung anbräche, da seit der letzten Eruption noch nicht einmal 6 Jahrhunderte vergangen sind, während zwischen den Ausbrüchen von 36 v. Chr. und 1302 n. Chr. ein Zeitraum von mehr als 13 Jahrhunderten liegt.

Der angeführte Fall zeigt uns, dass es nicht immer leicht ist, zu bestimmen, ob ein Vulcan wirklich erloschen ist oder nicht. Es lässt sich bei manchen Vulcanen nicht sagen, ob ihr letzter Ausbruch wirklich ihr allerletzter war; vielmehr ist die Möglichkeit nicht ausgeschlossen, dass ein sogenannter erloschener Vulcan unerwartet wieder einmal seine Thätigkeit beginnt. Am zweckmässigsten erscheint es, diejenigen Vulcane als erloschen zu betrachten, die zwar ihre vulcanische Natur durch ihren Bau deutlich verrathen, von denen aber kein Ausbruch in geschichtlicher Zeit erwiesen ist. Misslich ist hierbei freilich wieder der Umstand, dass viele Vulcane Gebieten angehören, deren Bewohner noch nicht in das Licht der Geschichte getreten sind. Ihre Ausbrüche sind uns also möglicher Weise nur deshalb nicht bekannt, weil die Berichterstatter für dieselben fehlen.

Nach alledem ist es sehr schwer, die Zahl der thätigen Vulcane auf dem ganzen Erdkreis genau festzustellen. Ein derartiger Versuch ist auch insofern noch mit besonderen Schwierigkeiten verknüpft, als man häufig unschlüssig ist, ob man jeden kleinen Hügel mit kraterförmiger Oeffnung einzeln in Rechnung bringen oder mehrere benachbarte als verschiedene Organe eines und desselben Vulcans ansehen soll. Wo wir es mit einem hohen vulcanischen Kegel zu thun haben, wird kaum ein Zweifel entstehen; wo hingegen auf plateauartigem Terrain zahlreiche kleine Kratere und Schlackenhügel auftauchen, wird die Entscheidung schwerer. Derartige vulcanische Gruppen zählt man am besten als einen Vulcan (so die Kratere der Eifel, der phlegräischen Felder, der Euganeen u. a.). Wollte man in solchem Falle jedem Ausgangspunkte eines Eruptionscanals eine individuelle Bedeutung bei-

messen, so würden wir beispielsweise für die kleine Inselgruppe der Galapagos mehr als 2000 Vulcane erhalten.

A. v. Humboldt ermittelte auf Erden 407 Vulcane und unter diesen 225 thätige[1]). Die letzte Ziffer musste schon deshalb zu klein ausfallen, weil A. v. Humboldt nur solche in diese Classe aufnahm, welche seit der Mitte des vorigen Jahrhunderts Eruptionen hatten. Aber auch die erstere Zahl hat sich durch neuere Entdeckungen bedeutend vermehrt, und so finden wir bei C. W. C. Fuchs[2]) 270 thätige Vulcane und 672 Vulcane überhaupt angeführt.

Die folgende Tabelle giebt uns nach Fuchs eine Uebersicht über die Zahl der Vulcane, wie sie auf die verschiedenen Länderräume vertheilt sind.

	Gesammtzahl.	Gegenwärtig noch thätige.
1. Europa.		
Auf dem Festlande und den continentalen Inseln	24	5[3])
Island und Jan Mayen	28	11
2. Asien.		
Westasien und Arabien	20	5
Centralasien und Indien	7	3
Kamtschatka	38	12
Kurilen	20	10
Japan	46	7
Zwischen Japan und den Philippinen	23	7
Südasiatische Inseln	109	45
Inseln im Busen von Bengalien	3	2
Inseln bei Arabien	9	2
3. Afrika.		
Festland	15	11
Westseite von Afrika } Insel- und submarine Vulcane	28	10
Ostseite von Afrika } Insel- und submarine Vulcane	9	5
4. Nordamerika.		
Halbinsel Aljaska	5	3
Festland der Vereinigten Staaten	29	6
Summa	413	144

[1]) A. v. Humboldt, Kosmos. Bd. IV, S. 446.

[2]) l. c. S. 93 ff.

[3]) Diese fünf sind: Vesuv, Aetna, Stromboli, Volcano und der submarine Vulcan auf der Insel Ferdinandea, welche nur vom Juli bis December 1831 bestand.

	Gesammtzahl.	Gegenwärtig noch thätige.
Transport	413	144
Mexico	15	6
Aleuten	48	31
5. Mittelamerika.		
Festland	56	21
Antillen	14	6
6. Südamerika.		
Quito	20	11
Peru	15	3
Chile	33	14
Inseln an der Ostküste von Südamerika	5	3
7. Australien.		
Neuholland	1	—
Neuguinea	3	3
Neubritannien	3	2
Neuseeland	7	2
8. Zerstreut liegende Inseln.	39	24
Summa	672	270

Diese Angaben sollen natürlich kein genaues und abschliessendes Resultat sein. Es ist vielmehr zu erwarten, dass zukünftige Zählungen zu anderen und zwar zu höheren Resultaten führen. Sind auch seitdem mehrere früher für Vulcane gehaltene Kegel als nicht vulcanisch erkannt worden (so der Ilinissa, vgl. Note 1 zu S. 213, und der Aconcagua) [1]), so entstehen doch auch andrerseits noch immer neue, und in Länderräumen, die bisher der Fuss des Forschers nicht betreten hat, wird noch mancher Berg einen vulcanischen Charakter verrathen.

Wie die obige Tabelle zeigt, sind die Vulcane keine localen Erscheinungen; sie sind vielmehr ausgestreut über alle Erdtheile und alle Zonen. Und doch wird die räumliche Vertheilung der Vulcane von gewissen Gesetzen beherrscht, welche sofort in die Augen springen, sobald man die Vulcane in eine Erdkarte einträgt.

Sie suchen nämlich mit Vorliebe die Nähe grosser Wassermassen auf; die meisten erheben sich daher an den Rändern der Oceane oder im Meere auf Inseln. So liegen von den 225 Vulcanen, welche seit der Mitte des vorigen Jahrhunderts einen Ausbruch hatten, 155 (also

[1]) Moriz Wagner, Naturwissenschaftliche Reisen im tropischen Amerika. Stuttgart 1870. S. 453. 499 f.

zwei Drittel der Gesammtheit) auf Inseln und nur 70 (ein Drittel) auf den Continenten[1]), und von den letzteren wieder findet sich die Mehrzahl an der Küste selbst oder wenigstens nicht weit von den Ufern grösserer Binnenseen. Binnenländische Vulcane, welche noch thätig sind, gehören zu den grössten Seltenheiten; man wird darum wohl kaum irren, wenn man ruhende Vulcane, welche tief im Innern der Festlande und auch fern von Seen vorkommen, wenigstens so lange als erloschen betrachtet, als die oceanische Küste ihnen nicht näher rückt. Demnach sind die Vulcane in der Auvergne, der Eifel und in Mitteldeutschland als erloschen anzusehen, obwohl sie, geologisch gesprochen, theilweise durchaus nicht von besonders hohem Alter sind. So ist z. B. der Roderberg bei Bonn erst entstanden, als der Rhein längst durch jenes Thal floss, da die Laven Geröll einschliessen, wie es noch gegenwärtig der Rhein mit sich führt[2]).

Dass erloschene Vulcane weit binnenwärts liegen, darf nicht auffallen, da das Meer einst Flächenräume bedeckte, welche schon längst seinem Schosse entstiegen sind; es kann somit recht wohl vormals den Fuss jener Vulcane bespült haben. Zu den grössten Seltenheiten darf man hingegen diejenigen Fälle zählen, in denen thätige Vulcane von jeder grösseren Wasseransammlung weit abstehen. Der rastlos thätige Sangay in Quito ist 28 geogr. Meilen, der Popocatepetl in Mexico 33 geogr. Meilen und der Grosse Ararat, welcher früher für erloschen angesehen wurde, aber erst am 2. Juli 1840 durch eine mit Bergsturz und Erdbeben verbundene Eruption sich als thätig erwies, sogar 40 Meilen vom Meere entfernt. Doch nähert sich der letztere dem Wan-See bis auf 14 und dem Balyk Göl bis auf 8 Meilen.

Bei der innigen Beziehung des thätigen Vulcanismus zum Meere trug die angebliche Existenz von Vulcanen im Innern von Asien viel Räthselhaftes an sich. Das vulcanische Gebiet Ujun Holdongi (in der nordwestlichen Mandschurei, 25 Werst oder 3½ Meilen von der Stadt Mergen) ist von der nächsten Küste 144 geogr. Meilen entfernt; allein die dortigen Krater sind, wie in Erman's Archiv von 1866 nachgewiesen worden ist, keineswegs noch thätig, sondern erloschen[3]). Ebenso verhält es sich wohl mit dem von A. v. Humboldt[4]) als Vulcan beschriebenen Pe-schan, dem beständig dampfenden Vulcan von Turfan im Nordosten der Stadt Kunä-Turfan und der grossen Solfatara von Urumtsi (sämmtlich im Thian-Schan gelegen). Der Pe-schan

[1]) A. v. Humboldt, Kosmos. Bd. IV, S. 450 f.

[2]) Daubeny, Die noch thätigen und erloschenen Vulcane, bearbeitet von Leonhard. S. 70.

[3]) Zeitschrift Globus, Bd. XXI (1872), Nr. 22, S. 338.

[4]) Centralasien. Berlin 1844. Bd. I, S. 381 ff.

ist vom indischen Oceane 380, vom nördlichen Eismeere 370 und selbst vom Aralsee noch 255 geogr. Meilen entfernt. Nur einige kleinere Seen, wie der Saisan-nor, der Balchasch-See und der Issyk-kul, nähern sich ihm bis auf 90, resp. 52 und 43 geogr. Meilen. A. v. Humboldt stützte sich bei jenen Angaben auf die sinologischen Forschungen von Stanislas Julien; indessen dürften wohl kaum aus den von Julien benützten chinesischen Quellen Ausbrüche in historischen Zeiten mit einiger Sicherheit erwiesen werden können. Neuerdings hat J. Muschketow die Frage nach den thätigen Vulcanen in Centralasien durch den Hinweis auf die im Ili-Becken jetzt noch brennenden Kohlenflötze zu lösen versucht [1]). Zugeben müssen wir in jedem Falle die Existenz erloschener Kratere im Gebiete des Thian-Schan. So sahen Oberst Gordon, der österreichische Geolog Stoliczka und Capitain Trotter im Jahre 1874 auf einem Ausfluge von Kaschgar nach dem Thian-Schan bei Turgat Bala unverkennbare Kraterwände eines erloschenen Vulcans [2]).

Von dem am Nordufer des Wan-Sees gegen 3300 Meter sich erhebenden Sipan-Dagh nimmt man an, dass er ein Vulcan, aber wahrscheinlich ein erloschener ist. Im Jahre 1869 entdeckte der britische Consul zu Erzerum, J. G. Taylor, nördlich vom Wan-See zwischen Beigirkala und Diadin am Muradfluss einen thätigen Vulcan Namens Sunderlik-Dagh, d. i. Ofenberg. Rauch stieg aus seinem Krater auf, und ein rumpelndes Getöse liess sich in der Erde hören [3]). Indess ist jener Berg kein anderer als der von H. Abich [4]) an den Quellen des Euphrat unter 39° 43′ n. Br. und 61° 33′ ö. L. von Ferro aufgefundene Tandurek. Dieser aber ist keineswegs ein thätiger Vulcan; seine zahlreichen Fumarolen, massenhaften Wasserdämpfe und Schwefelablagerungen beweisen nur, dass er ehemals Eruptionen gehabt hat; sicher gehört er jetzt unter die erloschenen Vulcane. Endlich zählt auch der Demawend (an dem Südufer des kaspischen Meeres) in diese Kategorie. Er wurde im Jahre 1859 von Kotschy, 1860 von v. Minutoli und Brugsch erstiegen. Auch er besitzt Fumarolen; aber er weist keinerlei Spuren eines neueren Ausbruches auf. So fällt denn einer der thätigen Vulcane des asiatischen Continentes nach dem andern, und wir dürfen mit vollem Rechte daran zweifeln, dass auch nur ein einziger noch ebenso weit vom Meere zurückweicht wie der Grosse Ararat.

[1]) Bulletin de l'Acad. impér. d. Sc. d. St. Petersbourg 1877, p. 1 sq.

[2]) Zeitschrift Globus, Bd. XXVI (1874), Nr. 14, S. 220.

[3]) T. K. Lynch in den Proceedings of the Royal Geogr. Society. Vol. XIII (1869), Nr. 3, p. 243.

[4]) Bulletin de la Société des Naturalistes de Moscou. 1870. Tome I, p. 1.

Ebenso misstrauisch sind wir gegen die thätigen Vulcane Innerafrika's. Die Nachrichten über den Dschebel Koldadschi, einen angeblichen Vulcan in Kordofan, welcher 112 geogr. Meilen von der Küste des rothen Meeres entfernt sein soll, sind sehr unzuverlässig und entbehren einer neueren Bestätigung; namentlich fehlen uns jegliche Angaben darüber, ob er noch wirklich thätig oder bereits erloschen ist.

Es scheint demnach, dass das Meerwasser bei vulcanischen Ausbrüchen ein Hauptagens ist. Früher hat man es in Frage gestellt, dass bei der Tiefe des vulcanischen Heerdes, in welchen das Wasser hinabsteigen muss, die Expansivkraft der in solchen Tiefen entstehenden Dämpfe von dem hydrostatischen Druck des hinabsickernden Seewassers überwunden werden könne, dass also das Wasser durch die Oeffnungen und Spalten auf dem Boden des Meeres, sowie durch die Poren der Gesteine bis zu dem vulcanischen Heerde niederzugehen vermöchte. Den interessanten Versuchen Daubrée's verdanken wir den Nachweis, dass dies in der That möglich ist. Daubrée construirte eigens hierzu einen Apparat und beobachtete Folgendes: Wenn auf eine Sandsteinplatte von oben eine Wasserschicht, sowie die Atmosphäre einen Druck ausüben, während sie von unten her bei einer den Siedepunkt des Wassers erheblich überschreitenden Temperatur einen noch bedeutenderen aërostatischen Druck erleidet, so dringt das Wasser noch rascher durch sie hindurch, als wenn, wie bei gewöhnlicher Temperatur, nur die Atmosphäre von unten her wirkt. Daubrée glaubt den Grund dieser eigenthümlichen Erscheinung darin zu finden, dass die an der unteren Seite der Sandsteinfläche haftenden Wassertheilchen in Folge der hohen Temperatur verdampfen. Nun werden die zunächst liegenden Wassertheilchen durch die Capillarität gezwungen herabzusteigen; aber auch sie verdampfen rasch an der unteren Fläche, und neues Wasser gelangt an ihre Stelle von oben herab. Daubrée hat also gezeigt, dass einsickerndes Wasser selbst gegen einen heftigen Dampfdruck durch die Capillarporen eines nicht allzu dichten Gesteins sich einen Weg zu bahnen vermag. Uebrigens kann man sich auch mit A. v. Humboldt[1]) denken, dass an den Rändern der aufsteigenden Continente, welche jetzt die über der Meeresfläche sichtbaren Küstenstriche mit mehr oder minder schroffen Abhängen bilden, durch die gleichzeitig veranlassten Senkungen des nahen Meeresgrundes Spalten verursacht worden sind, durch welche die Communication mit dem Erdinnern befördert wird.

Ist nun das Meerwasser wirklich ein unentbehrlicher Factor bei vulcanischen Ausbrüchen, so würden chemische Analysen der aus-

[1]) Kosmos. Bd. IV, S. 452.

gestossenen Gase dies bezeugen, und in der That haben Daubeny, Deville, Fouqué u. a. bei Ausbrüchen verschiedener Vulcane alle chemischen Producte nachgewiesen, die vorhanden sein müssen, wenn Seewasser Zutritt zu den vulcanischen Heerden erlangt hätte. So entwickeln die meisten in der Nähe der Küste liegenden Vulcane Chlorwasserstoffsäure oder sogenannte Salzsäuredämpfe, während andere Chlorverbindungen, wie Salmiak, Kochsalz und das schwefelgelbe Eisenchloridhydrat, sich als Sublimationsproducte häufig an den Wänden der Spalten finden. Doch scheinen diese Chlorverbindungen den meisten Andesvulcanen Südamerika's theils ganz zu fehlen, theils mögen sie nur in geringen Quantitäten hier vorkommen, wie uns dies die Untersuchungen Boussingault's und García Moreno's, des früheren Präsidenten von Ecuador, gelehrt haben. So enthalten nach Boussingault die fünf südamerikanischen Vulcane Tolima, Puracé, Pasto, Tuqueres und Cumbal gar keine Salzsäure. A. v. Humboldt nahm sogar an, dass die Abwesenheit der Salzsäure ein charakteristisches Merkmal des Vulcanismus in Amerika sei. Indessen hat sich bei näherer Untersuchung diese Vermuthung nicht bestätigt. So fand Reiss einen mittelbaren Beweis für das Vorhandensein dieser Säure in dem Eisenglanz (hierro oligisto) des Antisana. Ferner besitzen die Fumarolen des Cotopaxi Ablagerungen einer weissen Substanz, die von Dressel als Gyps erkannt wurde und besondere Wichtigkeit dadurch erlangte, dass mit dem Gypse zugleich Chloride auftraten[1]).

Jene interessante Frage nach der Abhängigkeit des thätigen Vulcanismus von dem Seewasser ist jedenfalls noch nicht endgiltig gelöst. Doch scheint man zu der Annahme berechtigt zu sein, dass, je weiter ein Vulcan von der Küste entfernt ist, auch das Seewasser um so weniger Einflüsse auf seine Dämpfe geltend macht und Chlorverbindungen um so seltener werden. Vor allen Dingen aber drängt sich beim Anblick der erloschenen binnenländischen Vulcane die Ueberzeugung auf, dass die Nähe des Meeres für die vulcanische Action eine nothwendige Voraussetzung ist, und diese Behauptung ist um so mehr gerechtfertigt, als wir bereits erkannt haben, dass die Wasserdämpfe bei vulcanischen Eruptionen ohne Zweifel eine Hauptrolle spielen.

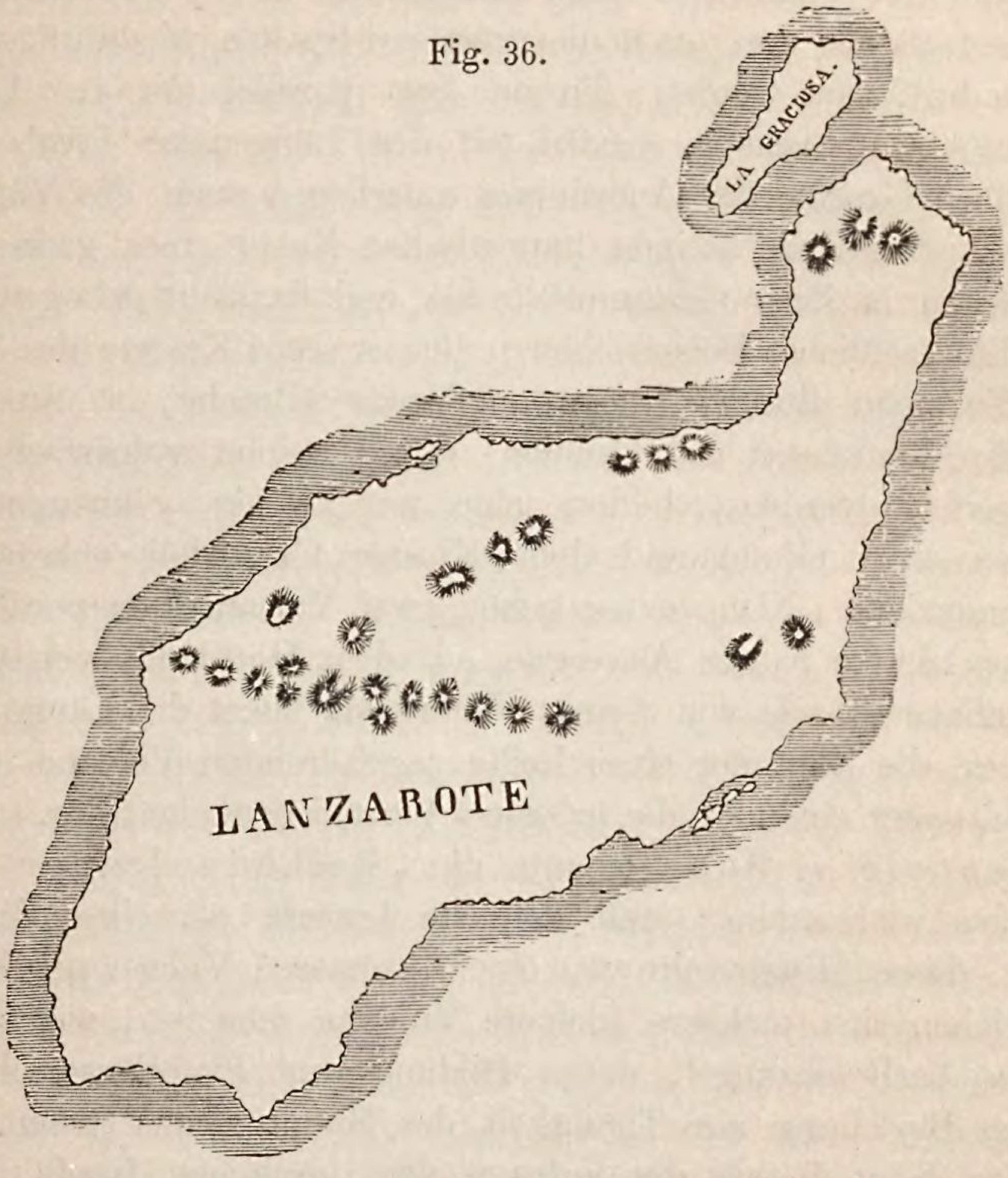
Ausser dem einen Gesetz: Vulcane suchen mit Vorliebe Küstengebiete auf — gilt für die räumliche Vertheilung der Vulcane noch ein zweites: Vulcane haben häufig eine reihenförmige Anordnung.

Als A. v. Humboldt im Jahre 1810 in seine Karte von Neuspanien die Vulcane Mexico's vom Orizabapic im Osten bis zum Colima im Westen zwischen 18° 59′ und 19° 12′ n. Br. eintrug, fand

[1]) W. Reiss in der Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin. Bd. VIII (1873), S. 304.

er, dass diese vom Tuxtla bis zum Colima auf einer sanft gebogenen, beinahe geraden Linie geordnet lagen. Bemerkenswerth war hierbei der Umstand, dass dieselbe vom atlantischen Ocean mitten durch eines der grössten Hochländer der Erde ging und in die Südsee verlängert auf die vulcanische Revillagigedogruppe traf. Als A. v. Humboldt jene Entdeckung veröffentlichte [1]), bat er die Leser um Entschuldigung, dass er auf diesen vielleicht nur zufälligen Umstand aufmerksam zu machen wage. Gar bald bestätigte sich jedoch die reihenförmige Anordnung der Vulcane auch anderwärts. Leopold v. Buch be-

Fig. 36.



Die Reihenvulcane auf der canarischen Insel Lanzarote nach L. v. Buch.

obachtete auf Lanzarote (eine der Canarien) ein Seitenstück zu dieser Erscheinung [2]) und schuf den Namen „Reihenvulcane". Selten sind die vulcanischen Linien völlig geradlinig, wie in Chile; häufiger bilden sie schwach gekrümmte, nach dem Ocean zu gewölbte (convexe) Curven, wie die an der Ostseite von Asien von Nord nach Süd auf einan-

[1]) Essai politique sur la Nouvelle Espagne. Paris 1811. Tome II, chap. VIII, p. 300.

[2]) L. v. Buch, Physikalische Beschreibung der canarischen Inseln. Berlin 1825. S. 313 ff.

der folgenden Vulcanreihen der Aleuten, der Halbinsel Kamtschatka, der Kurilen, der japanischen Inselwelt, der Liu-Kiu-Inseln und der Philippinen (im letzteren Falle zeigt sich die sanft geschwungene Curve am reinsten, wenn der Vulcan auf der Insel Negros mit dem Vulcan Sujut im Innern und dem Vulcan Sanguili auf der Südspitze von Mindanao sowie mit der Vulcaninsel Sangir und dem Vulcan an der Nordostspitze von Celebes durch eine Linie verbunden wird). Dasselbe gilt von Java. Als Junghuhn diese zerrüttete Stelle der Erdrinde genauer untersuchte, entdeckte sein scharfes Auge nicht nur, dass Java wie Sumatra in ihren Längenaxen solche vulcanische Lippen besitzen, sondern dass auch die grösseren Spalten wiederum von Querspalten durchsetzt werden, die auf Java parallel mit der Längenaxe Sumatra's, auf Sumatra parallel mit der Längenaxe Java's laufen [1]). Demselben Gesetze der Anordnung unterliegen auch die Vulcane der Antillen. Sogar die kleinen parasitischen Kegel eines grösseren Vulcans stellen in ihrer Gesammtheit hie und da sanft gebogene Curven dar. Ein treffliches Beispiel hierzu liefern sechs Kratere des Jorullo [2]); auch die neun Bocche Nuove am Vesuv (Bocche, im Sing. Bocca, sind die Mündungen von Canälen, durch welche vulcanische Massen ausgeworfen werden,) bilden eine nur wenig gekrümmte Reihe zwischen dem Gipfel und dem Kloster Camaldoli oberhalb Torre dell'Annunziata. Nicht selten gehen zwei Vulcanreihen parallel neben einander her (so in der Auvergne, auf dem Hochlande von Quito und im westlichen Theile von Java). Uebrigens bietet die Länge der Vulcanreihen, die Zahl der einer Reihe angehörenden Vulcane und deren Abstand unter einander die grössten Verschiedenheiten dar.

Leopold v. Buch trennte die „Reihenvulcane“ von den „Centralvulcanen“ und definirte letztere als eine Vereinigung solcher, deren Mittelpunkt von einem grösseren Vulcan gebildet wird, um welchen sich mehrere kleinere Vulcane schaaren, sogenannte secundäre Ausbruchskegel, deren Bildung und Eruptionserscheinungen in naher Beziehung zur Thätigkeit des Hauptvulcans stehen. So bezeichnete L. v. Buch die Vulcane der liparischen Inseln (mit dem fortwährend thätigen Stromboli als Mittelpunkt), den Aetna, den Vesuv mit den phlegräischen Feldern, die Vulcane der Azoren (mit dem Pic von Pico als Mittelpunkt), der canarischen Inseln (mit dem Pic von Teneriffa), der Cap Verdischen Inseln (mit der Montagna di Fuego)

[1]) Franz Junghuhn, Java, seine Gestalt, Pflanzendecke und innere Bauart. Bd. I, S. 80.

[2]) A. v. Humboldt, Kosmos. Bd. IV, S. 343. P. Scrope, Die Bildung der vulcanischen Kegel und Krater. Uebersetzt von C. L. Griesbach. Berlin 1873. S. 7.

u. a. als Centralvulcane. Da der Begriff der Centralvulcane überall da herbeigerufen wird, wo die Reihenbildung nicht deutlich hervortritt, so müssen wir ihn als etwas Willkürliches ansehen. Es erscheint uns einfacher und richtiger, in solchem Falle eine Kreuzung mehrerer Spalten anzunehmen, durch welche die lineare Anordnung der Vulcane verdunkelt wird.

Die gesetzmässige Vereinigung der Vulcane zu Reihen lässt darauf schliessen, dass benachbarte Ausbruchsstellen durch tiefe Spalten der Erdrinde unter sich verbunden sind. Diese Spalten und Klüfte brauchen an der Oberfläche nicht sichtbar zu sein. Sie müssen als vernarbt, stellenweise zugeschüttet oder durch Gesteinsmassen gleichsam wieder verwachsen gedacht werden. Die überraschende Länge jener Spalten lässt uns ahnen, dass sie weit in das Erdinnere hinabreichen. Hierdurch aber wird die Anschauung tiefer begründet, dass die vulcanischen Kräfte auf grosse räumliche Entfernungen hin in Abhängigkeit von einander stehen und dass auf solchen Linien jederzeit die Bildung eines neuen Vulcans erwartet werden darf.

Durchaus unzulänglich sind bis jetzt die Beobachtungen über eine alternirende Thätigkeit derjenigen Vulcane, die auf derselben Spalte liegen. Man hat sich hierbei auf folgende Wahrnehmungen berufen: Als im Jahre 1759 der Jorullo aufgerichtet wurde, trat für den Colima eine Periode der Ruhe ein. Wenn der Pic von Orizaba ruht, ist der Popocatepetl gewöhnlich um so erregter, und dasselbe zeigt sich auch am Tuxtla und am Iztaccihuatl. Es scheint sich somit die Reaction im Innern der Erde auf der Vulcanspalte von Mexico in der Weise zu äussern, dass abwechselnd bald der eine, bald der andere Krater mehr oder minder heftig thätig ist; doch lässt sich zur Zeit noch keine bestimmte Reihenfolge der vulcanischen Actionen hierbei nachweisen. Früher glaubte man auch an eine alternirende Thätigkeit von Vesuv und Aetna. An Zeugnissen hierfür fehlt es nicht. So hatte der Vesuv vom 25. Juni bis 8. Juli 1723 eine Eruption, und im November darauf begann der Aetna Asche auszuwerfen und Lava zu ergiessen. Von dem Ende des Jahres 1732 bis in den Januar 1733 hatte der Aetna einen Ausbruch, und im Juni des letzteren Jahres erfolgte eine Eruption des Vesuvs. Während dieser im Jahre 1832 etwa bis in den September thätig war, verhielt sich der Aetna vollkommen ruhig; als hingegen Ende October der Aetna in Eruption gerieth, blieb der Vesuv während deren heftigster Aeusserung in völliger Ruhe. Die angeführten Beispiele beziehen sich freilich nur auf geringe Zeiträume. Im übrigen lässt dieses Wechselspiel gar oft an Exactheit viel zu wünschen übrig, und es dürfte daher kaum entschieden werden können, in wie weit wir es hier mit einem bloss zufälligen Antagonismus zu thun

haben oder nicht. Nur darauf sei noch hingewiesen, dass Nachbarvulcane manchmal auch gleichzeitig ausbrechen. So erfolgten im Jahre 1728 auf Island zu derselben Zeit Eruptionen an acht verschiedenen Ausbruchsstellen, obwohl die meisten Vulcane dieser Insel auf einer Linie liegen, die von Südwest nach Nordost durch dieselbe gezogen werden kann. Auch waren im Jahre 1854 auf Kamtschatka die Vulcane Kliutschewskaja Sopka, Schiwelutsch und die kleine Semätschik gleichzeitig in Eruption.

Ferner hat man bei den grössten Ausbrüchen des Pichincha in den Jahren 1539, 1577, 1587 und 1666, sowie bei denen des Cotopaxi in den Jahren 1532, 1533, 1742, 1746, 1766, 1768 und 1803 keine auffallenden Erscheinungen an anderen thätigen oder ruhenden Vulcanen von Quito wahrnehmen können. Dasselbe gilt von den grossen vulcanischen Ausbrüchen in Centralamerika. Selbst während der grössten Eruption amerikanischer Vulcane, der des Cosequina im Jahre 1835, verharrten die nahe gelegenen Krater des Izalco und des Vulcans von San Miguel ohne sichtbare Störung in ihrer gewöhnlichen Thätigkeit. Aus diesen Beispielen geht hervor, dass nicht immer eine innige Beziehung besteht zwischen Vulcanen, die auf einer und derselben Spalte liegen, dass vielmehr bisweilen auch für sie getrennte vulcanische Becken existiren, zwischen denen sich Mauern von festem Gestein befinden [1]).

Hinsichtlich ihrer Höhen- und Massenverhältnisse zeigen die Vulcane eben so grosse Verschiedenheiten wie die nichtvulcanischen Erhebungen der Erdoberfläche. Zu den niedrigsten Vulcanen gehören jedenfalls der Mandana auf den Santa-Cruz-Inseln (65 Meter hoch), der Tanna auf den Neuen Hebriden (nicht ganz 100 Meter hoch), sowie die 61 Auckland-Vulcane (Neuseeland), welche durchschnittlich 100 bis 200 Meter hoch sind und nur im Rangitoto (auf einer Insel am Eingang der Waitemata-Bucht) eine Höhe von 300 Metern erreichen [2]). Nach Fuchs [3]) ist der 6820 Meter hohe Chuquibamba in Peru der höchste Vulcan der Erde, wenn wir den von Fuchs noch als Vulcan angeführten 7072 Meter hohen Aconcagua (an der Ostgrenze Chile's) aus der Liste der Vulcane streichen; freilich sind beide von Pentland ermittelte Höhenwerthe suspect. Nach diesen würden der Sahama an der peruanisch-bolivianischen Grenze (nach Pentland 6812 Meter hoch), der Cotopaxi in Quito (nach Bouguer's trigonometrischer Messung 5754 Meter, nach W. Reiss' trigonometrischer Messung in seiner Nordspitze 5943 und in seiner Südspitze 5922 Meter

[1]) Moriz Wagner, Naturwissenschaftliche Reisen im tropischen Amerika. Stuttgart 1870. S. 443 f.

[2]) F. v. Hochstetter, Neuseeland. Stuttgart 1863. S. 86.

[3]) l. c. S. 118.

hoch)[1]) und der Antisana in Quito (5833 Meter hoch) alle anderen Vulcane der Erde überragen. In der alten Welt hat der Grosse Ararat die ansehnlichste Höhe (5191 Meter).

Wichtiger noch als die absoluten Höhen der Vulcane sind uns ihre relativen, weil aus diesen die Massenhaftigkeit der Aufschüttung besser als aus jenen zu ersehen ist. So hat der Cotopaxi, da er sich auf 2900 Meter hohem Plateau erhebt, nur eine relative Höhe von c. 3000 Metern. Bedeutender und jedenfalls unübertroffen ist in dieser Beziehung der Riesenbau der Kliutschewskaja Sopka, deren Fuss am Meeresspiegel liegt, bei der somit absolute und relative Höhe zusammenfallen und die trotzdem eine Höhe von 4886 Metern erreicht[2]).

Man wird nun einwenden: Lassen sich solche Höhen mit der Aufschüttungstheorie in Einklang bringen? Oder sind sie nicht vielmehr ein Beweis für deren Unhaltbarkeit? Diese Fragen können nur an der Hand von Thatsachen beantwortet werden; wir weisen deshalb auf folgende Facta hin: Der Vulcan Gunung-Guntur auf Java warf nach Junghuhn's Bericht[3]) am 4. Januar 1843 Vormittags 9 bis 12 Uhr soviel Asche aus, dass eine Fläche von 3480 geogr. Quadratminuten mit einer im Mittel 4 Par. Linien (9 Millimeter) dicken Schicht bedeckt wurde. Da nun eine Minute unter dem Aequator 5710 Par. Fuss lang, also eine Quadratminute 32 598 100 Quadratfuss gross ist, und da ferner die Asche von einem Quadratfuss Oberfläche bei 1 Linie Dicke 546 Gran wiegt (480 Gran = 1 Unze, 12 Unzen = 1 Pfund, 125 Pfund = 1 Ctr.), so betrug hiernach die Menge der Asche oder besser des Sandes, welchen der Vulcan von 9 bis 12 Uhr ausspie, 330 210 554 Centner.

So ungeheuer auch diese Masse an und für sich ist, so ist sie doch verhältnissmässig klein gegen die grösserer Eruptionen. Der cubische Inhalt jener 330 Millionen Centner würde erst einen Raum von 2644 Millionen Cubikfuss (90,75 Millionen Cubikmeter) ausfüllen; da jedoch der Gunung-Guntur einen Cubikinhalt von etwa 25 000 Millionen Cubikfuss (858,2 Millionen Cubikmeter) besitzt, so müsste er $9^1/_2$ mal soviel auswerfen, um den zum Aufbau des Kegels nothwendigen Stoff zu liefern. Und in der That haben manche Vulcane nicht

[1]) Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin. Bd. VIII (1873), S. 303 f.

[2]) Die Höhe der Kliutschewskaja Sopka wurde 1828 auf 15040 P. Fuss (4886 Meter) bestimmt, von Erman aber im Jahre 1829 81 Meter geringer befunden und zwar vermuthlich in Folge eines Einsturzes. O. Peschel, Geschichte der Erdkunde. 2. Aufl. (herausgeg. von S. Ruge). München 1877. S. 617 f.

[3]) Java etc. Bd. II, S. 80.

bloss so grosse Massen, sondern sogar noch grössere zu Tage gefördert.

Der G.-Tĕmboro auf der Insel Sumbawa schleuderte im April 1815 soviel Asche empor, dass selbst die westlichen Theile der Insel Lombok 2 Fuss (0,65 Meter) hoch davon bedeckt waren. Nach einer sehr sorgfältigen Berechnung und theilweisen Schätzung Junghuhn's mussten während der genannten Eruption nicht weniger als 9 Billionen Cubikfuss (308 952 Millionen Cubikmeter) Asche gefallen sein, eine Masse, aus der man mit Bequemlichkeit 3 solche Berge wie den Montblanc oder 173 von der Grösse des Vesuvs, ja 360 von der des G.-Guntur würde bilden können [1]). Und doch ist, wie Junghuhn ausdrücklich bemerkt, der obige Werth nicht als Maximal-, sondern als Minimalwerth zu betrachten.

Ferner hat Junghuhn im Jahre 1843 den Rauminhalt der Massen festzustellen versucht, welche der G.-Pĕpandajan in der Nacht vom 11. zum 12. August 1772 bei einem furchtbaren Ausbruche in wenigen Stunden ausstreute. Nach seiner Schätzung umfasste das mit Auswürflingen überzogene Areal 18 Quadratminuten, und die durchschnittliche Dicke der Schicht betrug 50 Fuss (16,24 Meter); somit war das Volumen der Auswürflinge gleich 29 343 Millionen Cubikfuss (1007 Millionen Cubikmeter). Letzteres war also immer noch bedeutender als die ganze Masse des G.-Guntur [2]).

Alle die bisher angeführten Beispiele werden in den Schatten gestellt durch das von isländischen Vulcanen im Jahre 1783 ausgeworfene Material, wovon man mehr als 700 Berge von der Grösse des G.-Guntur und nahezu 7 von der des Montblanc hätte bilden können. Die Lavamassen bedeckten 60 Quadratmeilen Land 600 Fuss (195 Meter) hoch, und ihr Volumen wurde zu 18 714 240 Millionen Cubikfuss (642 422,4 Millionen Cubikmeter) berechnet. Ebenso zeigen einzelne Lavaströme in der Auvergne nach Le Coq folgende ansehnliche Volumina [3]):

Graveneire	57	Millionen Cubikmeter
Pariou	33	" "
Mont Sinuire	172	" "
Come	344	" "

Mag auch die Cubation vulcanischer Massen theilweise eine äusserst schwierige, leicht zu irrigen Resultaten führende Arbeit sein, so dürfte

[1]) Es wird hierbei die Masse des Montblanc zu 94711 Millionen, des Vesuvs zu 1782 Millionen, des G.-Guntur zu 858 Millionen Cubikmeter gerechnet.

[2]) Franz Junghuhn, l. c. Bd. II, S. 103.

[3]) Nach Le Coq (Époques Géolog. d'Auvergne, tome IV) in den Philosophical Transactions of the R. Soc. of London. Vol. CLXIII (1873), p. 211.

doch wenigstens soviel feststehen, dass die Höhen- und Massenverhältnisse der Vulcane der Aufschüttungstheorie nicht widersprechen.

Am Schlusse unserer Betrachtungen über den Vulcanismus sei es uns verstattet, noch einige Worte über die homogenen Vulcane hinzuzufügen. Wie wir oben sahen, sind die Stratovulcane meist aus grösseren oder kleineren losen Auswürflingen zusammengesetzt; ihre architektonische und petrographische Beschaffenheit ist hauptsächlich durch die zahlreichen Dampfexplosionen bedingt. Kommen hingegen die Laven nicht mit dem Wasser in Conflict, fehlen also die Dampfentwicklungen und die damit verbundenen Explosionen, so steigen die Lavamassen ruhig und ohne Unterbrechung durch die nach oben führenden Canäle empor und stauen sich dort, wenn sie zähflüssig sind, zu glockenförmigen Bergen, sogenannten Domvulcanen, auf oder breiten sich, wenn sie leichtflüssig sind, zu vulcanischen Decken aus. Ihren ursprünglichen Eruptionscanal haben wir uns als gänzlich ausgefüllt zu denken. Man nennt sie nach K. v. Seebach's Vorgang[1]) homogene Vulcane, weil sie nicht, wie die Stratovulcane, aus verschiedenartigen, in zahlreichen Straten über einander gelagerten vulcanischen Producten bestehen, sondern sich durch ein einmaliges Hervorquellen gluthflüssiger Massen gebildet haben, also gewissermassen aus einem Gusse hervorgegangen sind. Zwar findet sich auch bei ihnen keine vollständige Gleichförmigkeit des Materials; vielmehr zeigen sich häufig zugleich Ablagerungen von Tuff und vulcanischem Schutt; aber doch treten letztere im Vergleich zu ihrer Menge an den Stratovulcanen hier bedeutend zurück. In ihrem Aeusseren unterscheiden sie sich von den Stratovulcanen durch gänzliches Fehlen des Kraters. Zu ihnen zählen die Basalt-, Trachyt-, Phonolith- und Andesitkuppen aller vulcanischen Gebiete der Erde. Auch Deutschland hat seine homogenen Vulcane; wir begegnen ihnen in Menge in der Eifel, dem Siebengebirge, dem Westerwald, dem Vogelsgebirge, der Rhön, dem Elbsandsteingebirge, dem Lausitzer Gebirge und anderwärts.

Seitdem man den Begriff der Vulcane in der angegebenen Weise erweitert hat, indem man den ursprünglich als solche bezeichneten Stratovulcanen die Basalt-, Trachyt- und Phonolithkegel als homogene Vulcane beiordnete, ist zwischen den eruptiven Gebilden der Jetztzeit und der Vorzeit ein enges Band hergestellt worden. In der That existirt ein solches; denn beide sind entstanden durch das Aufdringen gluthflüssiger Massen, nur dass sich dies bei den ersteren unter wesentlicher Mitwirkung des Wassers, bei den letzteren jedoch ohne dieselbe vollzogen hat.

[1]) Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft. Bd. XVIII (1866), S. 643 ff.

V. Erdbeben.

Wenn wir dem Abschnitt, welcher dem Vulcanismus gewidmet war, die Betrachtung der Erdbeben folgen lassen, so könnte es scheinen, als ob wir beiden einen streng ursächlichen Zusammenhang zuerkennen und die letzteren aus dem ersteren ableiten wollten. Wir bemerken darum schon im Eingang, dass Erdbeben und Vulcanismus zwar oft verschwistert sind, dass hingegen Erderschütterungen auch nicht selten auf andere als vulcanische Kräfte zurückgeführt werden müssen.

Bis zum Jahre 1858 wusste man nur gänzlich Ungenügendes über Erdbeben; erst von da ab verbreitete sich durch die strengen Untersuchungen Mallet's Licht über jene Erscheinungen. Seine bedeutsamen Arbeiten knüpfen sich an das Erdbeben, von welchem Calabrien am 16. December 1857 heimgesucht wurde. Schon im Januar 1858 begab er sich nach dem Schauplatz der Verheerungen, um die dortigen Vorgänge genauer zu erforschen [1].

Erdbeben können absichtlich hervorgerufen und überwacht werden [2]. Jeder Stoss, jedes Stampfen auf den Erdboden verursacht eine Erderschütterung. Jeder Schlag des grossen Hammers in der Krupp'schen Gussstahlfabrik bei Essen bewirkt ein Erdbeben. Der Schlag ist so heftig, dass Gebäude in beträchtlichem Abstand von dem Hammer beschädigt wurden. Jeder Schuss aus einem Belagerungsgeschütz, jede springende Mine in einem Bergwerk oder einem Steinbruch erzeugt ein Erdbeben; ja jeder schwere Wagen, der durch unsere Strassen

[1] R. Mallet, The great Neapolitan Earthquake of 1857. London 1862.

[2] Das Nachfolgende schliesst sich zum Theil eng an den Aufsatz Peschel's „Ueber das gegenwärtige Wissen von den Erdbeben" im Ausland 1869, S. 1124 ff. O. Peschel, Abhandlungen zur Erd- und Völkerkunde (herausgeg. von J. Löwenberg). Leipzig 1878. Bd. II, S. 281—292.

rasselt, erschüttert unsere Gebäude und macht die Fenster klirren. Mit Hilfe eines sogenannten künstlichen Horizonts, einer äusserst empfindlichen optischen Vorrichtung[1]), konnte Mallet beobachten, dass eine Quecksilberoberfläche noch auf 100 Yards (91,4 Meter) Entfernung von dem mässigen Schlag eines Hammers auf Gestein und auf 50 Yards (45,7 Meter) Entfernung durch Stampfen des Fusses erschüttert wird. Als im Jahre 1810 von der bekannten Shakespeare-Klippe ein Stück in's Meer sank, wurde in Dover eine Erschütterung gespürt wie von einem Erdbeben, und noch viel stärker war der Stoss im Jahre 1772 in Folge einer gleichen Veranlassung. Was wir also unter Erdbeben gewöhnlich verstehen, unterscheidet sich von den angeführten Thatsachen nur durch die Stärke der Erschütterung.

Nach Mallet's Versuchen pflanzen sich bei Entzündung von Minen die Erschütterungen mit ungleicher Geschwindigkeit fort, je nach der Beschaffenheit des erschütterten Bodens, und zwar wächst die Schnelligkeit der Bewegung mit der Dichtigkeit desselben. Bei Sand betrug die Geschwindigkeit 825 engl. Fuss (251,5 Meter), bei stark zerklüftetem Granit 1306 engl. Fuss (398,1 Meter) und bei dichter geschlossenen Granitmassen 1665 engl. Fuss (507,5 Meter) in der Secunde. Dies ist die Geschwindigkeit, mit welcher die Stosswelle vorrückt; von dieser ist jedoch die des einzelnen Wellentheilchens zu unterscheiden. Sind auch beide in gewissen Beziehungen von einander abhängig, so dürfen sie doch nicht mit einander verwechselt werden. So ermittelte Mallet beispielsweise für das calabrische Erdbeben eine Geschwindigkeit der Welle von 1000 engl. Fuss (304,8 Meter), eine Geschwindigkeit der Wellentheilchen von nur 8 engl. Fuss (2,4 Meter). Die letztere Bewegung beträgt bei Erdbeben oft nur 1 bis $1^1/_3$ Meter in der Secunde, im Mittel 3 bis 5 Meter und hat im Maximum 25 Meter in der Secunde nie überschritten. Die Geschwindigkeit des Wellentheilchens ist überdies der Massstab für die unheilanrichtende Gewalt des Stosses, d. h. der Geschwindigkeit, welche der Stoss festen Gegenständen, wie Gebäuden u. s. w. aufdrücken kann.

Die Form der Bewegung ist die einer Welle von einer äusserst flachen Wölbung und Vertiefung, sowie grosser Breite. Das beste Gleichniss von der Art jener doppelten Bewegung gewährt ein Kornfeld, dessen Halme vom Winde bewegt werden. Bei der letzteren Erscheinung muss man zweierlei streng unterscheiden: nämlich die Bewegung der Aehrenwelle über das Feld und die Bewegung der einzelnen Aehre, die vollendet ist, wenn sie sich gebeugt und wieder auf-

[1]) Jede ungestörte, spiegelnde Flüssigkeit ist ein künstlicher Horizont; den vollkommensten gewährt ein Gefäss mit Quecksilber.

gerichtet hat. Die Aehrenwelle bewegt sich nämlich viel rascher als die einzelne Aehre, und genau so ist es bei Erdbeben; denn während sich die Stosswelle sehr rasch fortsetzt mit der halben Geschwindigkeit einer abgeschossenen Kanonenkugel, bewegt sich das einzelne Körperchen, durch welches die Welle hindurchgeht, vielleicht nur wie ein etwa $^2/_3$ bis 1 Meter tief frei fallender Körper.

Die Erdbebenwelle muss sich durch verschiedene Mittel fortpflanzen: sie schreitet über Ebenen und felsige Gebirge, durch Landseen und Meeresstücke. Ihre Wirkung ist daher eine sehr verschiedene. Im allgemeinen darf man sagen, dass die See stärker erschüttert und somit mehr aus ihrem Gleichgewicht gebracht wird als das Land und eine Ebene, die ja meist aus lockerem Erdreich besteht, mehr als ein angrenzendes felsiges Hochland. Darum sind die Erdbeben auf sandigem Terrain relativ häufig (weil sie hier leichter bemerkt werden) und von schlimmeren Folgen begleitet als anderwärts. Krystallinisches Terrain dagegen ist vergleichsweise besser gegen Erdbeben geschützt als z. B. Schwemmland. Daher erscheint Skandinavien als ein nahezu erdbebenfreier Raum; daher bleiben Häuser, welche auf Fels gegründet sind, oft erhalten, während die auf Sandboden in unmittelbarer Nähe erbauten zerstört werden. So ergab sich z. B. aus den sorgfältigen Untersuchungen von Sharpe, dass bei dem Erdbeben von Lissabon im Jahre 1755 die auf dem Hippuritenkalk und auf Basalt stehenden Häuser unversehrt blieben; die auf den festeren tertiären Schichten errichteten Gebäude wurden mehr oder weniger beschädigt; alle auf den weichen Mergeln gelegene aber wurden umgestürzt und zertrümmert [1]).

Die mächtigsten Wirkungen aber treten dann ein, wenn eine Erdstosswelle erst über eine Ebene gerollt ist und ein Massengebirge erreicht. Wird der Gebirgskamm dann auch nur ganz unmerklich und die Ebene selbst nur sehr mässig erschüttert, so erfolgen dafür an den Rändern beider Gebiete, besonders da, wo die Ebene am Gebirgsabhang sich aufrichtet, die schlimmsten Störungen, wie man dies bei dem calabrischen Erdbeben von 1783 beobachtet hat, wo alle weicheren Erdarten, die auf der Granitaxe des Gebirges auflagerten, am heftigsten gestört wurden.

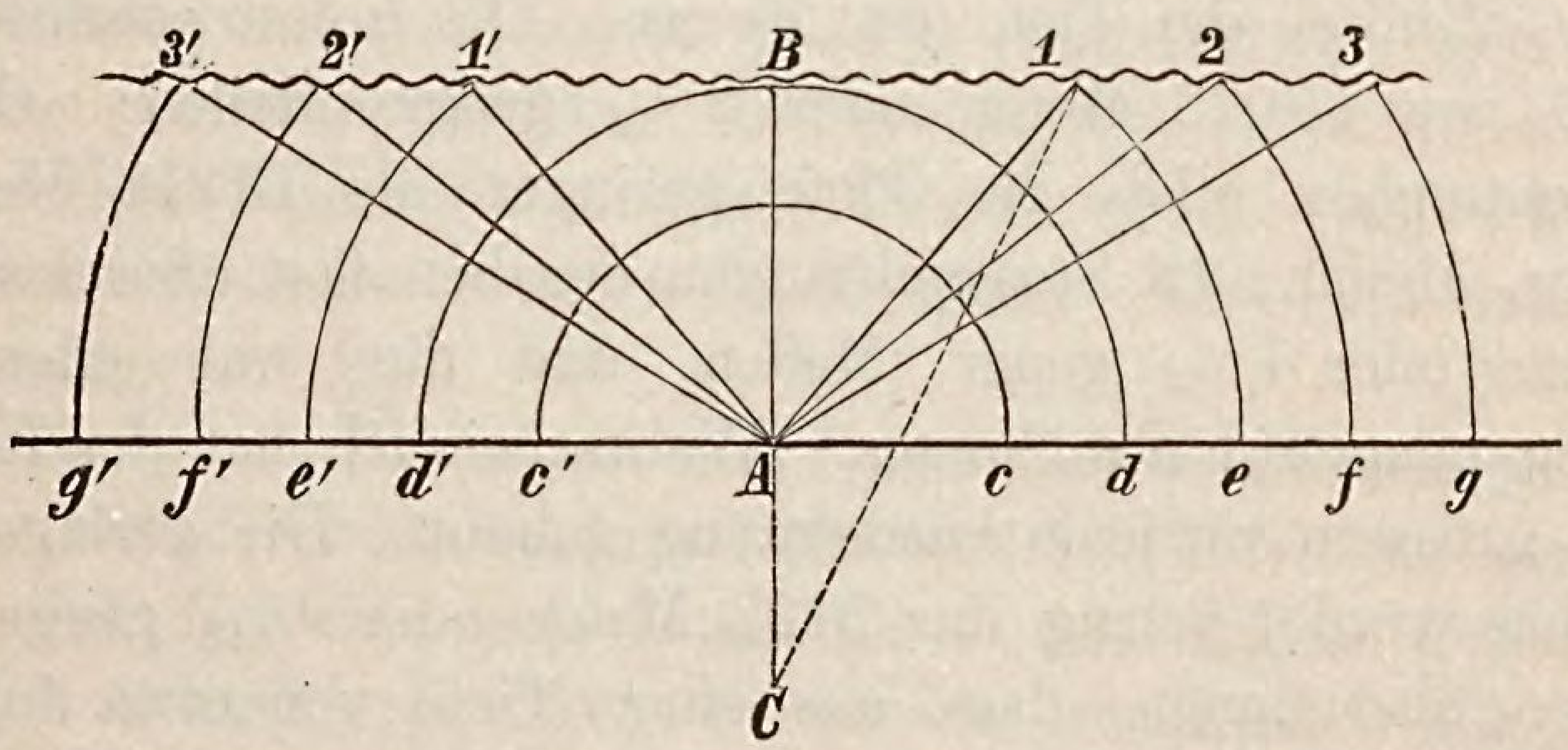
Bedeutsam sind besonders Mallet's Untersuchungen über den Ursprungsort der Bewegung oder mit anderen Worten über den Heerd der Erschütterung. Denken wir uns, dass in einem grösseren Umkreise um den Ausgangspunkt des Stosses in mässigen Entfernungen Obelisken aufgestellt wären, so würden diese sämmtlich in der Richtung der Er-

[1]) Edinb. New philos. Journal. Vol. XX, p. 116.

schütterung umfallen und zwar, wo nicht absonderliche Verhältnisse obwalten, mit der Spitze nach einwärts. Man braucht also nur den von ihnen angedeuteten Richtungen zu folgen, so wird man dort, wo sich die Linien schneiden, an der Oberfläche der Erde den Punkt finden, von welchem scheinbar die Erschütterung ausging. Mallet suchte nun auf dem Schauplatz der calabrischen Verheerungen diejenigen umgestürzten Bauwerke aus, welche am unzweideutigsten die Richtung des Stosses durch ihre Trümmer bezeugten. Hierauf entwarf er auf einer Karte 60 Pfade der Erschütterungswelle. Sie alle führten in einen Kreis von $1\frac{1}{4}$ geogr. Meilen Durchmesser, dessen Mitte die Stadt Caggiano einnahm. Wiederum vereinigten sich 48 von jenen 60 in einem concentrischen Kreise von 4650 Meter Durchmesser, 32 in einem Kreise von etwa 1850 Meter Durchmesser, endlich 16 in einem Raume von nur 460 Meter Durchmesser, dem Mittelpunkt aller übrigen Kreise. Dort lag also der Focus oder Ausstrahlungspunkt an der Erdoberfläche, das sogenannte Epicentrum. Eine Anzahl anderer, hier ausgeschlossener Bestimmungen hat sich mit Sicherheit als ein gesondertes System reflectirter Richtungen erwiesen. Das Oberflächencentrum ist daher in sehr befriedigender Weise, ja mit grosser Genauigkeit ermittelt worden.

Allein an der Erdoberfläche selbst durfte nicht der Ausgangspunkt gesucht werden, sondern in der Tiefe. Es galt nun, den wirklichen Ausgangspunkt der Erschütterung im Erdinnern festzustellen. Bestände unsere Erdrinde aus einer ganz gleichförmigen, also gleich elastischen

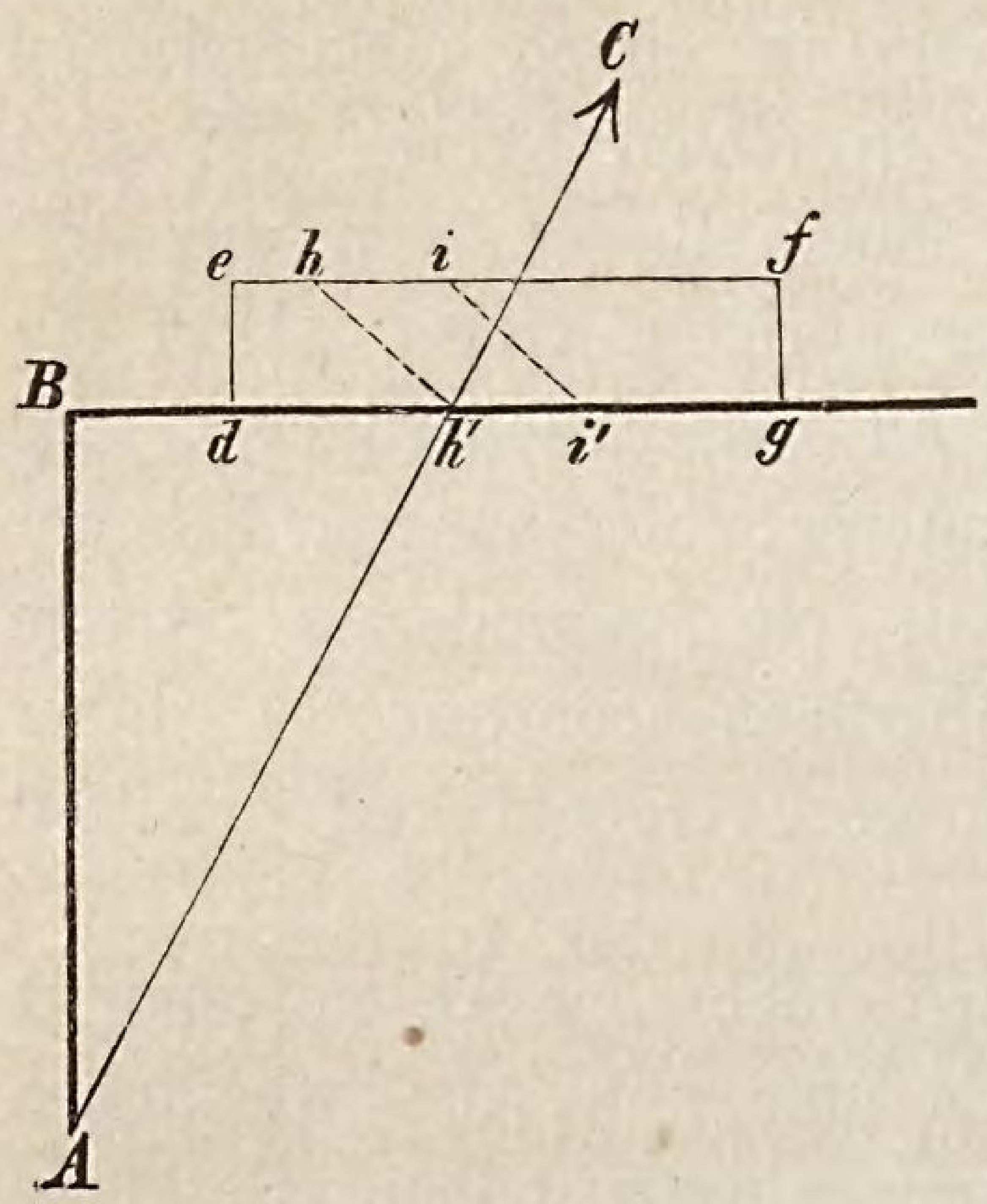
Fig. 37.



Masse und erfolgte der erste Stoss irgendwo in der Tiefe, so müsste sich die Stosswelle in concentrischen Sphären verbreiten. Ist der Sitz des Stosses bei *A* (Fig. 37), so wird die Welle zunächst an dem Kreisbogen *cc'*, dann *dd'*, dann *ee'*, dann *ff'*, dann *gg'* anlangen. Erst bei *B* erreicht sie jedoch die Erdoberfläche als senkrechter Stoss, bei

1 und *1'* schon unter beträchtlichen Winkeln, und je weiter sie sich fortpflanzt, unter immer stumpferen Winkeln. Fern vom Focus werden die Stösse beinahe horizontal erfolgen. Denken wir uns aber, dass der Stoss von *C* kam, so lehrt die Figur selbst, dass dann bei *1* die Richtung des Stosses mit der Oberfläche einen viel steileren Winkel bildet, als wenn der Sitz des Stosses bei *A*, also seichter gewesen wäre. Ist durch die vorausgehenden Untersuchungen der Punkt *B* ermittelt worden, der sich senkrecht über dem Focus befindet, so wird man nun Bauwerke, z. B. Mauern aufsuchen, die mit der Richtung des Stosses in gleicher Ebene liegen, wie es bei Fig. 38 von *defg* vorausgesetzt wird. In dieser Mauer werden sich normal zur Richtung des Stosses parallele Risse *hh'* und *ii'* zeigen, und eine einfache Rechnung lehrt dann, da nun der Winkel *Bh'C* bekannt ist, welche Tiefe unter *B* dem Ursprungsort des Stosses (*A*) zukommt. Je mehr wir uns von dem Ort *B*, wo der Stoss senkrecht war, entfernen, desto mehr werden sich die Risse an günstig gelegenen Bauwerken einer Verticalen nähern.

Fig. 38.



Aus 26 Stossrichtungen berechnete Mallet nach dem Austritts-(Emersions-)Winkel die Tiefe des Focus. Die grösste dadurch angezeigte Tiefe war 15073 Meter oder $2^{1}/_{32}$ geogr. Meilen; allein bei 23 Stossrichtungen blieb die Tiefe geringer als 13218 Meter oder $1^{25}/_{32}$ geogr. Meilen; 18 Stossrichtungen ergaben fast übereinstimmend 10667 Meter oder $1^{7}/_{16}$ geogr. Meilen, und dies war jedenfalls der wahre Ausgangspunkt des Stosses. Wahrscheinlich hat der Erdbebenheerd eine grössere verticale Ausdehnung gehabt. Die geringste Tiefe, die gefunden wurde, betrug nur 5102 Meter oder $^{11}/_{16}$ geogr. Meilen. Wir können also sagen, dass aus einer Tiefe von etwa $1^{1}/_{2}$ geogr. Meilen der Stoss erfolgte.

Neuerdings hat sich insbesondere Karl v. Seebach[1]) hohe Verdienste um die Erforschung der bei den Erdbeben in Betracht kommenden Elemente erworben. Wir geben in dem Folgenden die Haupt-

[1]) Karl v. Seebach, Das mitteldeutsche Erdbeben vom 6. März 1872. Leipzig 1873.

resultate seines vorzüglichen Werkes über das mitteldeutsche Erdbeben vom 6. März 1872.

Es ist unmittelbar klar, dass Mallet's Methoden der Berechnung für das genannte Erdbeben nicht brauchbar waren. Hatte dasselbe zahlreiche Gegenstände umgestürzt und umgeworfen, so waren dieselben doch meist zu klein gewesen, als dass man nachträglich noch hätte Messungen vornehmen können. Auch die Spalten, welche einzelne Gebäude im östlichen Thüringen und im Osterlande zeigten, erwiesen sich weder bedeutend, noch geeignet genug zu weiteren Untersuchungen. Ueberhaupt wird Deutschland — auch der Forscher wird sagen müssen glücklicher Weise — nur äusserst selten von Erdbeben heimgesucht, deren Wirkungen verheerend genug sind, das von Mallet durchgeführte Verfahren zu gestatten. Es ist daher für die schwächeren deutschen und nordwesteuropäischen Erdbeben eine andere als die Mallet'sche Methode erforderlich.

Den von Jul. Schmidt in Athen bereits 1847, sowie von Fr. Pfaff 1860 gemachten Andeutungen folgend, gelang es K. v. Seebach, aus der Zeit, zu welcher die Erdbebenbewegung an zahlreichen Orten beobachtet wird, den Oberflächenmittelpunkt, die Tiefe des wahren Erdbebenheerdes unter diesem, die mittlere (wahre) Fortpflanzungsgeschwindigkeit und den Zeitpunkt des ersten Anstosses zu berechnen, während sich die Geschwindigkeit der einzelnen Oscillationen nicht direct ableiten lässt.

Nothwendige Voraussetzung für die Seebach'sche Methode, ebenso wie zuvor für das Mallet'sche Verfahren, ist die mit der Wahrheit allerdings nicht übereinstimmende Annahme eines homogenen, leitenden Mediums, d. h. einer allseitig constanten, ungebrochenen Leitung der festen Erdkruste. Doch lässt sich keine andere Voraussetzung an ihre Stelle bringen, und ebenso wenig wie die bisher vorgeschlagenen Methoden werden sich spätere auf eine andere Basis stellen können.

v. Seebach hat Berichte aus 324 verschiedenen Orten gesammelt[1]), von denen 149 Zeitbestimmungen enthielten; doch waren nur 102 davon für seine Berechnungen brauchbar. Auch diese gehen noch so kraus durch einander, dass man es auf den ersten Blick für unmöglich hält, in ihnen ein leitendes Gesetz zu erkennen. Indess liessen sich doch nach einer sorgfältigen Sichtung derselben die oben angeführten Elemente mit annähernder Sicherheit ermitteln und zwar in folgender Weise:

Was die Lage des Oberflächenmittelpunktes (Epicen-

[1]) l. c. S. 6—103.

trum) betrifft, so folgt v. Seebach den Angaben Hopkins'. Unter der Voraussetzung einer homogenen Erdkruste und somit auch einer ungebrochenen und constanten Leitung müssen die Zonen gleichzeitiger Erschütterung gleichweit vom wahren Erdbebenheerde abstehen und daher auch alle gleichzeitig erschütterten Orte auf der Erdoberfläche gleichweit vom Oberflächenmittelpunkte entfernt liegen. Verbindet man Orte, in denen das Erdbeben gleichzeitig verspürt wird, durch Linien, so erhält man Curven (von v. Seebach als Homoseisten bezeichnet), welche bei homogener Erdkruste Kreise sein müssten und wohl immer annähernd als solche betrachtet werden dürfen. Verbindet man zwei Orte einer Homoseiste durch eine Gerade und errichtet im Mittelpunkt der Verbindungslinie ein Loth, so ist dieses natürlich der geometrische Ort des Oberflächenmittelpunktes, die Gegend aber, in der mehrere solcher Lothe sich schneiden, die Gegend des Oberflächenmittelpunktes selbst. Als Fundamentalzeiten betrachtete v. Seebach bei dem Erdbeben von 1872 die in Göttingen, Leipzig, Eger und Halle beobachteten, und er fand den Oberflächenmittelpunkt nahe östlich bei Amt-Gehren, etwa in 50° 38,6′ n. Br. und 8° 41,25′ ö. L. von Paris. In derselben Weise ermittelte A. v. Lasaulx[1]), dass der Oberflächenmittelpunkt des Erdbebens von Herzogenrath am 22. October 1873 ganz nahe bei Pannesheide, südwestlich von Herzogenrath und dicht an der holländisch-preussischen Grenze lag unter 50° 52′ 51″ n. Br. und 3° 41′ 15″ ö. L. von Paris.

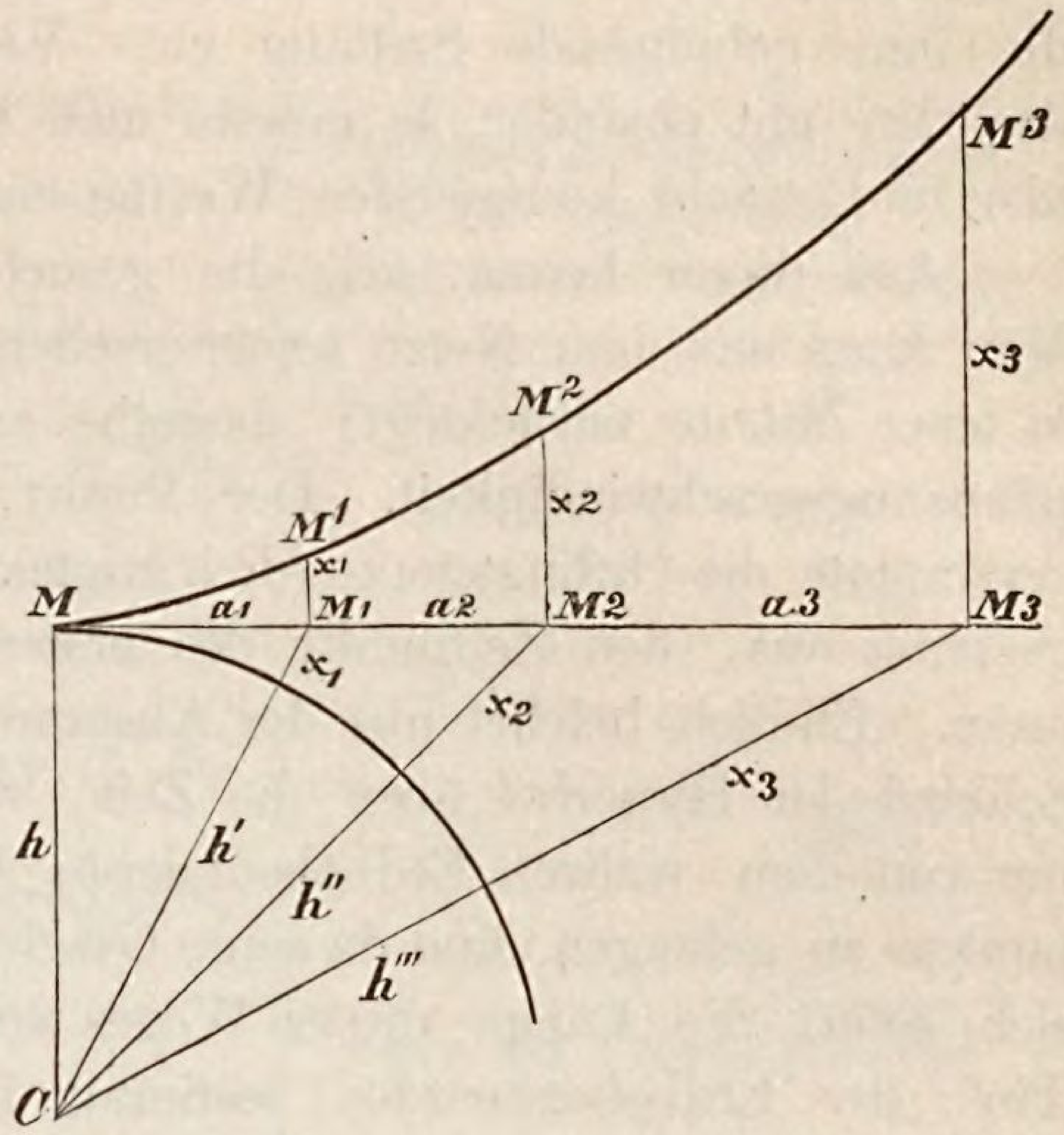
Um die wahre Fortpflanzungsgeschwindigkeit, den Zeitpunkt des ersten Anstosses und die Tiefe des Erdbebenheerdes zu bestimmen, hat v. Seebach folgende graphische Methode in Anwendung gebracht, wobei wir für die zur Begründung derselben entwickelten Formeln auf das Werk selbst S. 159 ff. verweisen.

Gehen wir wieder von der Grundbedingung aus, dass die an irgend einem Punkte des Erdinnern entstehende Erdbebenwelle sich nach allen Richtungen hin durch ein homogenes Medium bewegt, so lässt sich die theoretische Grundlage der Seebach'schen Methode leicht erfassen. Wäre der Erdmittelpunkt zugleich auch der Mittelpunkt des Erdbebens, so würde die Erschütterung nahezu gleichzeitig an allen Punkten der Erdoberfläche beobachtet werden. Liegt aber der Erdbebenmittelpunkt an irgend einer der Erdoberfläche näheren Stelle und denkt man sich hierbei der Einfachheit wegen die Erdoberfläche als eine Ebene, somit ihre Projection als eine gerade Linie, was namentlich bei Erdbeben von kleinerer Verbreitung keine nennenswerthen Un-

[1]) Das Erdbeben von Herzogenrath am 22. October 1873. Bonn 1874. S. 108.

richtigkeiten herbeiführt, so treten dann die Verhältnisse ein, wie sie durch Fig. 39 dargestellt werden. Wenn C den Erdbebenheerd, M das Epicentrum, h die Entfernung beider bezeichnet, so braucht die Stosswelle, um die Strecke CM zu durchschreiten, eine gewisse Zeit t, welche gleich ist der Entfernung h dividirt durch die Geschwindigkeit c. Für den Oberflächenpunkt M_1, der sich in einem bestimmten Axialabstande a_1 von M befindet, ist der zu durchlaufende Weg um die Strecke x_1 länger, für M_2 um x_2, für M_3 um x_3 u. s. w. In gleichem Verhältniss wie die zu durchlaufenden Wege werden auch die Zeiten grösser, in welchen diese Strecken zurückgelegt werden. Erreicht die Welle den Punkt M in der Zeit $t = \frac{h}{c}$, so gelangt sie nach M_1 in $t_1 = \frac{h + x_1}{c}$, nach M_2 in $t_2 = \frac{h + x_2}{c}$ u. s. w.

Fig. 39.



K. v. Seebach kommt nun zu dem Schlusse: Wenn man bei gegebenem Oberflächenmittelpunkt auf die Abscissenaxe eines Coordinatensystems, dessen Nullpunkt im Oberflächenmittelpunkte gedacht wird, die Axialabstände der Orte von diesem a_1, a_2, a_3 u. s. f. in Meilen aufträgt, dagegen auf der Ordinatenaxe mit dem gleichen Massstabe die beobachteten Zeitmomente t_1, t_2, t_3 u. s. f. in Minuten einzeichnet, so beschreiben die Orte M_1, M_2, M_3 u. s. f. eine Hyperbel (vgl. die obere Hälfte der Fig. 39). Der Grad der Genauigkeit, mit dem sie dies thun, gewährt zugleich einen Massstab für die Güte der Zeitbestimmungen.

In der Theorie ist diese Methode eine ganz exacte und zugleich elegante, da durch Construction der Hyperbel unmittelbar alle drei der oben genannten Grössen ermittelt werden. Man verfährt hierbei einfach in folgender Weise. Man theilt ein Papier netzförmig in Quadrate ein, nimmt eine der horizontal laufenden Linien als Abscissenaxe und bezeichnet die Entfernung je zweier vertical laufender Linien z. B. als

eine Meile. Andrerseits wird eine der Verticalen zur Ordinatenaxe gemacht, und der Zwischenraum zwischen je zwei Horizontalen vertritt in der Zeichnung eine Minute. Ferner weist man jedem Orte je nach seiner Entfernung vom Oberflächenmittelpunkte und der Zeit, in welcher er von der Erdbebenwelle getroffen wurde, innerhalb jenes Netzes die ihm gebührende Stellung zu. Verbindet man nun die Punkte der Orte mit einander, so müsste man bei absoluter Genauigkeit aller hier in Betracht kommenden Werthe eine Hyperbel erhalten.

Aus dieser lassen sich die gesuchten Elemente direct ableiten. Man kann aus dem Netze sofort ersehen, wieviel Meilen die Bewegung in einer Minute zurücklegt; dasselbe zeigt demnach die wahre Fortpflanzungsgeschwindigkeit. Der Punkt, in welchem die ausgezogene Asymptote die Ordinatenaxe (d. i. zugleich die Erdbebenaxe) schneidet, gestattet uns, den Zeitpunkt des ersten Anstosses unmittelbar abzulesen. Endlich belehrt uns der Abstand dieses Schnittpunktes von dem Scheitel der Hyperbel über die Zeit, welche das Erdbeben brauchte, um von dem wahren Erdbebenheerde bis zu dem Oberflächenmittelpunkte zu gelangen, und da seine Geschwindigkeit bekannt ist, so lässt sich sofort die Länge dieses Weges angeben, womit denn auch die Tiefe des Erdbebenheerdes bestimmt ist. Es werden demnach die genannten Elemente durch diese Methode leicht gewonnen.

Aus dem Netze auf Tafel I. des Seebach'schen Werkes lässt sich ohne weiteres erkennen, dass die mittlere wahre Geschwindigkeit des Erdbebens vom 6. März 1872 6 geographische Meilen in der Minute oder 742 Meter in der Secunde betrug. Der erste Anstoss zu diesem Erdbeben erfolgte nach Berliner Zeit um 3 Uhr 56 Minuten 9 Secunden Nachmittags. Dagegen war es K. v. Seebach nicht möglich, die Tiefe des Erdbebenheerdes nach dieser Methode zu berechnen, da die ihm zu Gebote stehenden Zeitangaben viel zu wenig exact waren, als dass sie zur Construction des stärker gekrümmten Hyperbelstückes und seines Scheitels genügt hätten. K. v. Seebach griff deshalb zu der Methode Mallet's zurück und wandte sie auf einen allerdings ganz vereinzelten Fall von Häuserrissen an, die in einem Hause zu Apolda entstanden und durch Director Compter genau gemessen worden waren. Es ergab sich auf diesem Wege, dass der wahre Heerd des Erdbebens vom 6. März 1872 wahrscheinlich nicht weniger als 1,94 geogr. Meilen (14395 Meter)[1]) und nicht mehr als 2,91 geogr. Meilen (21592 Meter) tief lag und die muthmassliche Tiefe = 2,42 geogr. Meilen (17956 Meter) zu setzen ist.

[1]) Die Abweichungen der Meterangaben von den bei K. v. Seebach angeführten Zahlen beruhen darauf, dass v. Seebach den Meter zu gross angenommen hat. 1 geogr. Meile = 7420 Meter.

Zum Vergleich der von K. v. Seebach für das mitteldeutsche Erdbeben von 1872 gefundenen Werthe mit den für andere Erdbeben ermittelten Elementen geben wir nach A. v. Lasaulx [1]) mehrere Tabellen wieder, in welchen die Fortpflanzungsgeschwindigkeiten, Tiefen des Heerdes und Intensitäten mehrerer neuerer Erdbeben zusammengestellt sind.

	Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Erschütterung in der Minute.	in der Secunde.
	Geogr. Meilen.	Meter.
1. Mitteldeutsches Erdbeben vom 6. März 1872	6	742
2. Rheinisches Erdbeben vom 29. Juli 1846	4,59	567,6
3. Erdbeben von Herzogenrath vom 22. October 1873	2,67	360,2
4. Neapolitanisches Erdbeben vom 16. December 1857	2,1	259,7
5. Erdbeben von Sillein (im nordwestlichen Ungarn) vom 15. Januar 1858	1,66	206

	Tiefe des Erdbebenheerdes (in Metern). Minimum.	Mittel.	Maximum.
1. Rheinisches Erdbeben von 1846 [2])		38 806	
2. Erdbeben von Sillein von 1858		26 266	
3. Mitteldeutsches Erdbeben von 1872	14 395	17 956	21 592
4. Erdbeben von Herzogenrath von 1873	5 045	11 130	17 214
5. Neapolitanisches Erdbeben von 1857	5 102	10 667	15 073

Die zweite der beiden Tabellen lehrt uns, dass die Tiefe, aus welcher die Stösse kommen, im Vergleich zu dem Verbreitungsgebiet des Erdbebens als verschwindend klein zu betrachten ist. Demnach gilt, wie K. v. Seebach [3]) gezeigt hat, die Regel, dass die Intensität des Stosses einfach der Grösse des Verbreitungsgebietes entspricht. Unter dieser Voraussetzung erhält man für die fünf oben erwähnten Erdbeben folgende Intensitäten:

1. Mitteldeutsches Erdbeben von 1872 . . 3305,2 [4]) oder 5 [5])
2. Erdbeben von Sillein von 1858 . . . 1612,5 „ 2,6

[1]) Das Erdbeben von Herzogenrath am 22. October 1873. S. 134. 137.

[2]) Die beiden ersten in der Tabelle angeführten Werthe sind nach den in Julius Schmidt's Arbeiten enthaltenen Zeitangaben von K. v. Seebach nach seiner Methode abgeleitet.

[3]) l. c. S. 175 ff.

[4]) Radius des Verbreitungsgebietes (in geogr. Meilen) mit sich selbst multiplicirt.

[5]) Intensität, wenn die des Erdbebens von Herzogenrath = 1 gesetzt wird

3. Rheinisches Erdbeben von 1846 . . .	1577,3	oder	2,5
4. Neapolitanisches Erdbeben von 1857 .	1252,6	„	2
5. Erdbeben von Herzogenrath von 1873 .	625,0	„	1

K. v. Seebach giebt in seinem Werke über das mitteldeutsche Erdbeben von 1872 (S. 127) der Hoffnung Ausdruck, dass seine Methode nach und nach mit den an Genauigkeit zunehmenden öffentlichen Zeitbestimmungen sich immer mehr als die beste und einfachste ausweisen werde. In der That fehlt es bei Erdbeben leider stets an zuverlässigen Zeitbestimmungen. Im Interesse der Wissenschaft handelt darum jeder, der den Zeitpunkt, in welchem ein Erdbeben eintritt, genau notirt, ihn auf die Bahnzeit eines Nachbarortes zurückführt und einer zur Erforschung des Erdbebens berufenen Person hiervon baldigst Mittheilung macht.

Um richtige Zeitbestimmungen zu erlangen, hat A. v. Lasaulx [1]) ein einfaches, selbstthätiges Instrument construirt, das an jeder im Gebrauche befindlichen Pendeluhr, also z. B. an den Regulatoren der Telegraphenstationen angebracht werden kann und im Momente der Erschütterung sofort den Stillstand der Uhr bewirkt. Dieses Instrument, seines wesentlichen Zweckes wegen als Seismochronograph bezeichnet, hat folgende Einrichtung (s. Fig. 40a).

Eine kleine Büchse A umschliesst eine Feder, welche in Verbindung mit einem dünnen Stahlstabe einen Hebelarm C, der am unteren Ende eines Holzbrettchens in drehbarer Axe befestigt ist, dadurch herabdrückt, dass sie diesen Stahlstab, der an seinem oberen Ende in einem kleinen messingenen Tellerchen B endigt, aufwärts schiebt. Wird das letztere durch eine Messingkugel (s. Fig. 40b) belastet, so erleidet die Feder eine Zusammenpressung, und der Hebelarm C legt sich rückwärts wider das Holzbrettchen, an welches die ganze Vorrichtung angeschraubt wird. Sowie eine Erschütterung eintritt, fällt die Kugel auf den runden Holzteller herab, welcher den Messingteller umgiebt; die Feder schnellt in die Höhe; der Hebelarm stürzt herunter vor das Pendel und arretirt die Uhr dadurch sofort. In jenen Holzteller sind acht Fächer eingeschnitten, in deren eines die herabfallende Kugel gelangen muss, und so wird die Richtung markirt, in der sie abgeworfen wurde. Man erhält also genau die Zeit des Eintrittes der Erschütterung und annähernd auch die Richtung des Stosses.

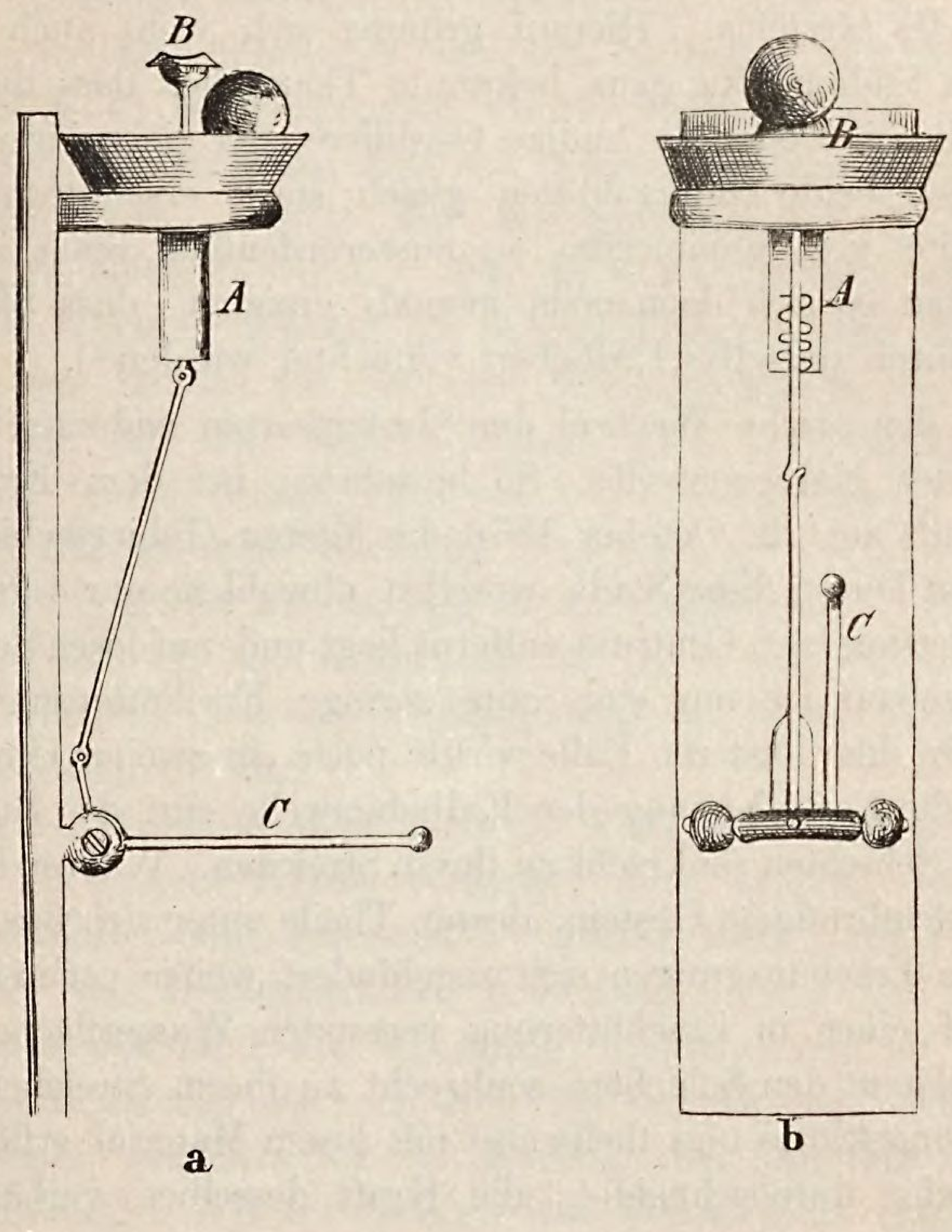
Dieses Instrument bietet manigfache Vortheile: es kostet wenig, erfordert keinerlei Beaufsichtigung und ist an jeder Pendeluhr mit Leichtigkeit anzubringen. Der allgemeine Gebrauch dieses Apparates würde bei zukünftigen Erdbeben ein weit besseres Material liefern als

[1]) l. c. S. 150 ff.

dasjenige, was K. v. Seebach und A. v. Lasaulx bei ihren Arbeiten zu Gebote stand.

Zu ganz correcten Resultaten wird freilich die Seebach'sche Methode ebenso wenig wie irgend eine andere führen, weil, wie oben bereits angedeutet worden ist, die Erdbebenentwicklung immer von localen geognostischen Verhältnissen abhängig ist. Petrographische Beschaffenheit wie geologischer Bau des Terrains kommen bei der Fortpflanzung der Erschütterungen gleich sehr

Fig. 40.



in Betracht. Der Stoss verbreitet sich weit leichter in einer homogenen und dichten, mehr oder weniger elastischen Masse, als in einer vielfach von Zwischenräumen und Spalten unterbrochenen. Letztere sind sogar im Stande, durch Abschwächung oder Aufhebung der Schwingungen die zerstörenden Wirkungen der Erdbeben örtlich zu beschränken oder wohl gar ganz zu beseitigen. So wussten schon die alten griechischen und römischen Schriftsteller, was heute noch in Südeuropa und im Orient als Erfahrungsthatsache gilt, dass natürliche und künstliche Höhlungen, Steinbrüche, tiefe Brunnen u. s. w. im Falle

eines Erdbebens die über ihnen stehenden Gebäude vor der Erschütterung bewahren oder wenigstens die schlimmen Wirkungen des Erdbebens nahezu aufheben. In Neapel befindet sich die vor den Erdstössen gesicherte Bildsäule des heiligen Januarius über einem tiefen Brunnen. Interessant ist in dieser Beziehung auch A. v. Humboldt's Bemerkung, dass in Südamerika bisweilen auf Gebieten, welche die Erdbebenwelle durchschreitet, einzelne Stellen unerschüttert bleiben, von denen die Eingeborenen sagen, dass sie eine „Brücke“ bilden [1]). Diese Stellen sind offenbar geschützt durch quer vorliegende Spalten oder wenigstens durch gestörte Schichtung und discordante Lagerung des Gesteins. Hierauf gründet sich wohl auch die in den Anden von Südamerika ganz bekannte Thatsache, dass die Erdbeben entweder die eine oder die andere Cordillere oder eines ihrer Querjoche, niemals aber beide Gebirgsketten gleich stark erschüttern. Obwohl die Westseite von Südamerika so ausserordentlich reich ist an Erdbeben, so hat es sich doch noch niemals ereignet, dass Städte beider Cordillen durch dasselbe Erdbeben vernichtet wurden [2]).

Auch der rasche Wechsel der Gesteinsarten widerstrebt der Entwicklung der Erdbebenwelle. So bewahrten bei dem Erdbeben von Herzogenrath am 22. October 1873 die älteren Gebirgsschichten nordwestlich von Düren diese Stadt, woselbst, obwohl sie nur 4 geogr. Meilen von dem pleistoseisten Centrum entfernt liegt und auf losen Schichten der Ebene aufgebaut ist, nur eine ganz geringe Erschütterung beobachtet wurde [3]). In dem letzteren Falle wirkte noch ein zweiter Umstand hemmend auf die Fortpflanzung der Erdbebenwelle ein: der Stoss traf die gesammten Schichten senkrecht zu ihrem Streichen. Während in ununterbrochen gleichförmigem Gestein, dessen Theile unter sich fest zusammenhängen, die Erschütterungen sich ungehindert weiter verbreiten wie die Wellen auf einer in Erschütterung versetzten Wasserfläche, wird da, wo der Erdstoss den Schichten senkrecht zu ihrem Streichen begegnet, also Trennungsklüfte und theilweise mit losem Material erfüllte Spalten nach einander durchschneidet, die Kraft desselben verhältnissmässig bald erlahmen.

Häufig werden die Erdstösse in Bergwerken gar nicht wahrgenommen, bisweilen aber auch so stark empfunden, dass die Arbeiter erschreckt aus der Grube fahren. Jm Jahre 1812 bemerkten die Bergleute in den Gruben bei Marienberg in Sachsen eine starke Erd-

[1]) A. v. Humboldt, Kosmos. Bd. I, S. 219.

[2]) Moriz Wagner, Naturwissenschaftliche Reisen im tropischen Amerika. Stuttgart 1870. S. 442.

[3]) A. v. Lasaulx, l. c. S. 51.

erschütterung, von welcher an der Oberfläche nichts verspürt wurde [1]). Indess gehört ein solches Vorkommniss zu den Seltenheiten und dürfte wohl in besonderen localen Umständen seinen Grund haben.

Häufiger hingegen wird uns das erstere berichtet. So haben nach Berzelius am 24. November 1823 die in den Gruben bei Persberg, Bisperg und Fahlun in der Tiefe arbeitenden Bergleute keinerlei Anzeichen eines daselbst eingetretenen Erdbebens beobachtet. Ebenso wurden die in den Steinkohlengruben zwischen Mühlheim und Unna beschäftigten Bergleute nichts von den Erdstössen gewahr, welche am 23. Februar 1828 im Gebiete der Rheinlande stattfanden [2]). A. v. Lasaulx [3]) berichtet Aehnliches von dem Erdbeben von Herzogenrath am 22. October 1873. Nirgendwo wurde dasselbe in den Gruben des Ruhrbeckens oder den Erzgruben des Siebengebirges und der unteren Sieg wahrgenommen, obwohl hier das Erdbeben an der Oberfläche überall deutlich bemerkt wurde. Für diese Verhältnisse passen C. F. Naumann's Worte [4]): „Wenn die oberflächlichen Massen den felsigen Grundfesten des Landes nur wie eine Schale aufgelegt oder angelehnt sind, wenn sie mit den tieferen Massen kein fest verbundenes und stetiges Ganze bilden, dann wird der lose Zusammenhang leicht aufgehoben und für sie eine Wirkung hervorgebracht werden können, welche für die tieferen Massen gar nicht möglich ist.“ Dieser Vorgang vollzieht sich um so leichter, als an der Oberfläche das Hinderniss der auflastenden Schwere wegfällt, wodurch ja die Welle in ihrer Entwicklung gehemmt wird.

Hiermit im Einklang steht auch die Thatsache, über welche A. v. Lasaulx [5]) in seinem Werke berichtet, dass nämlich von den das Rheinthal oberhalb Bonn einfassenden Plateaux auch nicht eine einzige Meldung über das Herzogenrather Erdbeben einging und zwar trotz der vorgenommenen amtlichen Erhebung, während sich im Rheinthale selbst die Erschütterung bis nach Neuwied hinauf, den Siegfluss aufwärts bis Siegen, das Ruhrthal bis Menden, das Lahnthal bis Giessen aufwärts erstreckte. Wie die Welle, von hartem Fels eingeschlossen, diesen nicht in Vibration zu setzen vermag, so prallt auch die Erschütterung der Alluvialmassen machtlos an dem härteren Fels der Thalgehänge ab. Hieraus erklärt sich zugleich, dass die äussersten Grenzen des erschütterten Gebietes weit von der Kreisform abweichen.

[1]) C. F. Naumann, Lehrbuch der Geognosie. 2. Aufl. Leipzig 1858. Bd. I, S. 219 f.

[2]) Poggendorff's Annalen, Bd. XII (1828), S. 332.

[3]) l. c. S. 55.

[4]) l. c. Bd. I, S. 219.

[5]) l. c. S. 52.

Da sich das Wasser noch viel leichter als lockeres Gestein aus seiner Ruhelage bringen lässt, so geben Erdbeben an den Ufern der Oceane, wo sie zu Seebeben werden, zu den auffallendsten Wirkungen Veranlassung. Es erfolgt ein plötzlicher Rückzug des Meeres und kurz darauf eine gewaltsame Ueberfluthung des Landes. Der Rückzug erfordert gewöhnlich eine Zeit von 5 bis 35 Minuten; nur in wenigen Fällen beansprucht er mehrere Stunden, bei dem Erdbeben von Pisco in Peru (im Jahre 1690) z. B. drei Stunden, bei dem von Santa in Peru (am 18. Juni 1678) sogar 24 Stunden. Um so mächtiger stürmte in den beiden letzten Fällen der Wasserberg bei seiner Wiederkehr landeinwärts. Auf offener See machen sich überdies jene mächtigen Wasserwellen viel weniger bemerkbar; bisweilen verharrt die See hierbei scheinbar in vollkommenster Ruhe.

Ueberraschend grossartig sind die Wirkungen der Seebeben an der Küste. Bei demjenigen von Lissabon im Jahre 1755 wurden diesseits des atlantischen Oceans die Küsten von Spanien, England und Schweden, jenseits desselben die westindischen Inseln Antigua, Barbadoes und Martinique überschwemmt. In der Nähe von Cadiz rollte das Meer in Gestalt ungeheurer Wogen von 20 Meter Höhe auf's Land. In Lissabon verloren 60 000 Menschen durch den Wellenschlag das Leben. Zuerst wich das Meer zurück und legte die Barre trocken; dann ergoss es sich, 16 Meter über seinen gewöhnlichen Stand erhoben, in die unglückliche Stadt. Bei Kinsale in Irland tobte es mit verheerender Gewalt in den Hafen hinein. An der Küste von Tanger in Marokko stieg und fiel dasselbe achtzehnmal hinter einander. In Funchal auf Madeira schwoll die See bis 5 Meter über die Hochwassermarke an, obwohl dort gerade Halbebbe war. Die grössten derartigen Wogen, welche bisher beobachtet wurden, bildeten sich während des Erdbebens von Lima im Jahre 1586; damals erreichte das Meer im Hafen von Callao sogar eine Höhe von 27 Metern über seinem normalen Spiegel.

Die Vertheilung der Erdbeben über die Oberfläche unseres Planeten lässt manches ahnen über die ersten Ursachen ihres Auftretens; denn gewisse Gebiete werden beständig, manche selten, manche gar nicht von Erdbeben heimgesucht. Ueberall, wo thätige Vulcane liegen, sind die Erdbeben zahlreich; auch ist es nicht anders zu erwarten. Schon vor dem Ausbruch werden sich leicht Klüfte bilden; denn die Entwicklung von Wärme, die dem Lavaerguss vorausgeht, dehnt unbedingt die unterirdischen Schichten aus, die einen mehr, die anderen weniger, so dass Schichten von Schichten gehoben werden können. Ferner sind die Lava-, Schlacken- und Aschenmäntel (Kratere) der Vulcane von ausgefüllten Spalten (Gängen) strahlenförmig durch-

setzt. Jede Oeffnung einer solchen Spalte geschah gewaltsam und hatte eine Erschütterung zur Folge. Die Beispiele, dass sich Lavaergüsse ohne jedes Erzittern des Bodens vollziehen, wie auf den Sandwichinseln (am Mauna Loa, vgl. S. 218), sind dagegen ausserordentlich selten. Nach den Eruptionen schwindet in Folge der Abkühlung die Wärme; es stürzen deshalb die von ihr vorher aus einander getriebenen Felsmassen in sich zusammen; ebenso werden die durch Lavaausfluss entstandenen Hohlräume durch Senkung der über ihnen sich wölbenden Schichten ausgefüllt. Wo es also Vulcane giebt, müssen auch Erdbeben häufig sein; es wäre wunderlich, wenn es anders wäre. Daher tragen wir auch Bedenken, die Vulcane mit A. v. Humboldt als Sicherheitsventile der Erde zu bezeichnen, da deren Thätigkeit keineswegs einen Schutz gegen Erdbebenverheerungen gewährt, im Gegentheil dieselben häufig veranlasst. Peru besitzt zahlreiche Vulcane, und doch ist es immer der Schauplatz fürchterlicher Erdbeben. Die heftigsten ereignen sich bei Arequipa, Lima und Truxillo, obgleich sich bei Arequipa der Vulcan gleichen Namens erhebt. Im September 1857 fand ein Ausbruch des Aetna, sowie des Stromboli und am 12. December desselben Jahres eine starke Eruption des Vesuvs statt, und dennoch erfolgte am 16. December das gewaltige Erdbeben in Calabrien. Aehnliche Verhältnisse zwischen vulcanischen Eruptionen und Erderschütterungen hat man auch anderwärts beobachtet [1].

Da die Vulcane entweder im Meere selbst auf Inseln oder hart am Meere, sehr selten binnenwärts liegen, so folgt schon aus diesem Umstande, dass Erdbeben auf Inseln und an Küstenländern häufiger sein müssen. Daher haben für uns die Erdbeben Sicilien's, an der Westküste Italien's, auf den griechischen Inseln, auf Island, auf mehreren atlantischen Archipelen, längs der Westküste von Südamerika, auf den Sandwichinseln, auf Neuseeland [2], an der Küste von Neu-Guinea, im Bereich der Sunda-, Banda-, Molukken- und philippinischen Inseln, selbst in Japan und auf den anderen vulcanischen Inselkränzen Nordasien's, sowie auf Kamtschatka nichts Befremdendes.

Da der oben geschilderte Process des Erkaltens und des allmählichen Zusammenstürzens der Felsmassen in der Nähe eines Vulcans bei der geringen Wärmeleitung der Felsarten und bei der tiefen Lage der gluthflüssigen Lavamassen wahrscheinlich durch geologische Zeitalter hindurch fortdauert, so suchen die Erdbeben häufig auch die

[1] Kluge, Ueber die Ursachen der in den Jahren 1850 bis 1857 stattgefundenen Erdbeben. S. 51.

[2] Am Tarawera-See auf Neuseeland vergeht kein Monat ohne leichten Stoss. Ferd. v. Hochstetter, Neuseeland. Stuttgart 1863. S. 43.

Stätten erloschener Vulcane heim. Daher hat England, das in früheren Erdaltern vulcanisch bewegt wurde, seine häufigen Erschütterungen. Das Gleiche gilt von der vormals vulcanischen Auvergne, von den kaspischen Niederungen in der Nähe des Kaukasus [1]), von den sibirischen Gebieten am Baikal-See, und wenn man sich für die rheinischen Erdbeben nach einer Ursache umsieht, so genügt wohl ein Blick auf eine geologische Karte, die uns dort eine Anzahl erloschener Vulcane zeigt. Anderwärts haben sich manche derselben das Erschüttern der Erde völlig abgewöhnt; denn die Insel Mauritius im indischen Ocean, ein altvulcanisches Bauwerk, kann seit unbestimmbar langer Zeit nicht gezittert haben, sonst wäre der seltsame Felsblock auf dem Gipfel des Pierre Botte längst herabgestürzt.

Dies alles sind vulcanische Erdbeben, welche schon ein behutsamer Geognost wie Naumann zum Missvergnügen A. v. Humboldt's von anderen Erdbeben, welche letztere er plutonische nennen wollte, gern gesondert hätte. Aber auch plutonische dürfen wir sie vorläufig noch nicht nennen, sondern bloss nichtvulcanische. In früheren Zeiten konnte freilich Fr. Hoffmann noch wagen, das Erdbeben in Syrien mit dem Ausbruch des Jorullo in Mexico in ursächlichen Zusammenhang zu setzen. Dagegen muss es uns sehr befremden, wenn F. Dieffenbach [2]) neuerdings noch ein Gleiches behauptet von dem Ausbruch des Puracé in Columbia (1. Octbr. 1869), den Erdbeben von Bonn (2. Octbr.) und Manila (5. Octbr.), sowie von den Eruptionen des Tongariro auf Neuseeland (am 22. Mai 1870) und den gleichzeitigen japanischen Erdbeben. Diese Ereignisse in Abhängigkeit von einander zu bringen, ist durchaus unstatthaft. Uebrigens dürfte ein derartiger Griff jetzt, wo wir über die Flegeljahre des Vulcanismus hinaus sind, wohl nur Heiterkeit erwecken; denn da die Erde an verschiedenen Punkten täglich mehrere Male erschüttert wird und es etliche Vulcane giebt, die beständig speien, so kann man sagen: kein Erdbeben ohne Vulcanausbruch, kein Vulcanausbruch ohne Erdbeben.

Wichtig ist die Thatsache, dass Erdbeben auch fern von allen Vulcanen auftreten. Selbst die calabrischen Erdbeben möchten wir zu den unvulcanischen rechnen, ebenso die Erschütterungen Jamaica's, sowie die von Cumaná und Carácas, vor allen aber die syrischen, sowie die seltenen ägyptischen und algerischen, ferner die häufigen in Kleinasien bei Brussa, in Syrien, im Industhale (Runn of Cutch), im Innern von Persien, in Skandinavien, in der Schweiz, das Erdbeben von Lissabon, endlich insbesondere die unerklärlichen Erschütterungen der

[1]) Am 16. Januar 1872 wurde die Stadt Schemacha total zerstört.

[2]) Plutonismus und Vulcanismus in der Periode von 1868—1872 und ihre Beziehungen zu den Erdbeben im Rheingebiet. Darmstadt 1873. S. 14. 15.

Mississippi-Ebene in den Jahren 1811 bis 1813, die in der Nähe von Neu-Madrid vorher ungekannte Seen schufen. Selbst manche Erschütterungen der Andenketten mögen nicht durch vulcanische Kräfte erregt worden sein, sondern nur von Einstürzen geognostischer Stockwerke herrühren, wie schon Boussingault vermuthet hat. Ueberhaupt sind Gebirge jüngerer Erhebung wie die Anden und die westlichen Alpen eben wegen ihrer Jugend nichtvulcanischen Erdbeben sehr ausgesetzt, wie sich umgekehrt Welttheile von hohem geologischem Alter grosser Ruhe erfreuen. Das östliche Südamerika gehört zu den erdbebenfreiesten Ländern; freilich fehlen ihm auch die Vulcane und theilweise die Beobachter, welche die Stösse den Zeitungen melden könnten. In Südafrika kann nach Livingstone's Zeugniss wegen eigenthümlicher Felsbildungen, die mit Einsturz drohen, seit undenklichen Zeiten kein Erdbeben geherrscht haben; auch Australien gehört bis jetzt zu den friedfertigsten Planetenstellen. Selbst junges Gebiet, aber dann ohne Gebirge oder nur von sehr alten Gebirgen durchzogen, ist gewöhnlich erdbebenfrei; denn von der norddeutschen Tiefebene über das europäische Russland und Sibirien bis zum Baikalsee, wo erloschene Vulcane auftreten, herrscht der tiefste Erdfriede.

Zusammengefasst bedeuten alle diese Thatsachen, dass Erdbeben seltener werden 1) im Abstand von thätigen Vulcanen, 2) im Abstand von vormals thätigen Vulcanen, 3) im Abstand von dem Erderschütterer Poseidon, also im Binnenlande und nicht auf Halbinseln, Inseln oder Küstengestaden, 4) im Abstand von jung erhobenen Gebirgen, überhaupt auf grösseren Tiefebenen (obgleich auch sie nicht gänzlich frei sind), 5) in alten Erdtheilen im Gegensatz zu den jüngeren.

Die nichtvulcanischen Erdbeben sind auf verschiedene Ursachen zurückzuführen.

Man hat früher mit Vorliebe den Ausgangspunkt derselben, also die directe Ursache des ersten Anstosses auf der Grenze des flüssigen Erdkernes und der festen Rinde gesucht[1]) und die Entstehung der Erdbeben von gewaltsamen Fluctuationen des Erdinnern abgeleitet oder von explosiven Dampfentwicklungen in dieser Zone. Diese Anschauungen sind schon deshalb nicht mehr zutreffend, weil der Heerd der Erdbeben, was man wohl mit Sicherheit aus den neueren Beobachtungen und Berechnungen folgern darf, niemals in so grossen Tiefen liegt, wie dies jene Annahmen fordern (vgl. S. 253). Ueberhaupt sind da, wo eine normale Temperaturzunahme nach der Tiefe stattfindet (vgl. S. 199), wie wir es auf nichtvulcanischem Gebiete wohl

[1]) So noch C. F. Naumann, Lehrbuch der Geognosie. 2. Aufl. Leipzig 1858. Bd. I, S. 270.

für die Mehrzahl der Fälle voraussetzen dürfen, die Erdbeben niemals der Bildung stark gespannter Dämpfe zuzuschreiben. Die ältere Annahme der Vulcanisten, dass Wasser in das heisse Erdinnere dringe, dort in Dampf sich verwandele und dieser seine Decke emporhebe, ist seit Mallet's Untersuchungen als beseitigt zu betrachten. Selbst unter der Bedingung, dass die Wärme des Erdinnern stetig um 1° F. auf 60 engl. Fuss (= 1° C. auf 33 Meter) nach der Tiefe wächst, erhält man beispielsweise für das calabrische Erdbeben von 1857 folgende Werthe:

	Tiefe des Erdbebenstosses (Meter).	Erdwärme (Grade Fahrenh.).	Spannung des Dampfes (Atmosphären).
Minimum	5102	339,4 (170,8° C.)	7,85
Mittel	10667	643,1 (339,5° C.)	148,88
Maximum	15073	883,6 (473,1° C.)	684,11

Wasserdampf, in eine Höhle eingeschlossen, hätte selbst unter der oben angenommenen höchsten Temperatur nur Kalkfelsen von 8550 engl. Fuss (2606 Meter) Mächtigkeit zu heben vermocht, während das Minimum der Tiefe des Focus doch 5102 Meter betrug. Hebungen bei Erdbeben sind daher auf diesem Wege nicht zu erklären.

Nach Pfaff werden Theile der flüssigen Centralmasse in unterirdische, jedoch der Oberfläche verhältnissmässig nahe liegende Hohlräume hinaufgepresst. Sind diese mit Wasser gefüllt, so entstehen durch rapide Dampfentwicklung Explosionen und somit Erschütterungen. Das Zustandekommen von Dampfexplosionen ist jedoch höchstens in einer Tiefe von $3^1/_2$ geogr. Meilen möglich. Erreicht nämlich die Temperatur in solcher Tiefe selbst den Maximalwerth von 2000° C. (d. i. die Schmelzhitze des Basalts und der Laven), so ergiebt sich hieraus eine Spannkraft des Wasserdampfes von 2404 Atmosphären; dieser Druck aber entspricht demjenigen einer Wassersäule von c. $3^1/_2$ geogr. Meilen. Es muss demnach oberhalb dieser Tiefe die Explosion des aufsteigenden Wassers vor sich gehen; denn unterhalb derselben verhindert der Druck des von oben her eindringenden Wassers die Dampfbildung. Da die bisher empirisch gefundenen Tiefen der Erdbebenheerde den Maximalwerth von $3^1/_2$ geogr. Meilen nicht überschreiten, so trägt diese Theorie den thatsächlichen Verhältnissen weit besser Rechnung.

Wenn wir im stillen Zimmer sitzen, vernehmen wir manchmal heftige Detonationen, die zugleich von leichten, kaum fühlbaren Erschütterungen begleitet sind. Ihren Ursprung haben jene Detonationen in irgend einem Möbel oder in dem Parquetboden, wo das austrocknende Holz sich zusammenzieht und so die Entstehung kleiner Risse veranlasst. In ähnlicher Weise wird durch langsame Erkaltung eine Zusammenziehung der Erdrinde herbeigeführt und so ein seitlicher

Druck erzeugt, welcher die Verschiebung, Faltung und Zerreissung der Schichten zur Folge hat. Jede plötzliche Störung der Lagerungsverhältnisse, jedes plötzliche Bersten der Erdrinde aber ruft eine Erschütterungswelle hervor und bewirkt zugleich ein Erdröhnen der nächsten Umgebung; die Bildung von Spalten aber ist denkbar auch ohne heissflüssiges Erdinnere und ohne jede Betheiligung vulcanischer Kräfte. Natürlich vollziehen sich diese durch die Contraction der Erde hervorgebrachten Bewegungen nicht langsam und stetig, sondern sprungweise und mit wechselnder Heftigkeit, sowie in ungeregelten Intervallen. Den Riss beim calabrischen Erdbeben hat Mallet hypothetisch berechnet. Er begann in einer Tiefe von etwa einer geogr. Meile und erstreckte sich weiter abwärts bis zu einer Tiefe von $1^3/_4$ geogr. Meilen, nicht genau senkrecht, sondern mit einer Neigung gegen Südosten, auch nicht gerade streichend, sondern gekrümmt auf etwa $2^1/_4$ geogr. Meilen Ausdehnung. Ebenso haben K. v. Seebach und A. v. Lasaulx nach Mallet's Vorgang als Centra des mitteldeutschen Erdbebens von 1872 und desjenigen von Herzogenrath im Jahre 1873 Spalten angenommen. K. v. Seebach glaubt, dass die erstere annähernd von Nordnordwest nach Südsüdost streicht und nicht senkrecht steht, sondern nach Ostnordost in's Erdinnere einfällt. Er folgert dies insbesondere aus dem Verhältnisse der Lage von pleistoseister Zone und Erdbebenaxe, sowie aus den ellipsoidischen Formen der isoseisten Linien.

Nicht selten mögen Erdbeben noch einer ganz anderen Ursache ihre Entstehung verdanken: der erodirenden Kraft des Wassers. Mit den Erdbeben sind nämlich häufig Senkungen verknüpft, und auf diese Erfahrung gestützt haben unsere Jungneptunisten Volger, Mohr und vor allem Gustav Bischof die Erdbeben durch Einstürze von Hohlräumen in der Erde erklärt. Dadurch erhielte der alte Aristoteles Recht, welcher schon bemerkt hatte, dass Erdbeben in höhlenreichen Gegenden am häufigsten auftreten. Befindet sich z. B. unter einer von Spalten und Ritzen durchzogenen, mehr oder weniger wagerecht liegenden Felsdecke ein Gyps- oder Steinsalzlager, so wird dieses von dem durch das Deckengestein niederwärts rieselnden Regenwasser im Laufe der Zeit immer weiter aufgelöst, und es bildet sich unter dem Deckengestein ein an Umfang mehr und mehr zunehmender Hohlraum. Hierdurch verliert dieses seine stützende Unterlage und sinkt endlich in denselben hinab. Stürzen so die geognostischen Stockwerke in die Tiefe, so muss an der Oberfläche ein See oder Morast entstehen, die uns gleichsam eine Abbildung der Hohlräume liefern, welche vorher in der Tiefe vorhanden waren. Solche Einstürze können aber recht leicht nur die mittelbare Folge eines Erdbebens sein; denn waren

Höhlungen vorher vorhanden und war das Gewölbe zum Einsturz reif, so bedurfte es nur einer geringen Erschütterung zu seiner Vernichtung. Immerhin sind jedenfalls viele Erdbeben auf den Zusammenbruch von Höhlen zurückzuführen, wenn es auch schwierig bleibt, sich die Hohlräume plötzlich ausgefüllt zu denken und nicht vielmehr, dass das Hangende sich allmählich senkt und rutscht.

Von jeher war die Jordanspalte der Schauplatz verheerender Erdbeben. O. Fraas[1]) bringt dieselben in Beziehung zu den zahlreichen Höhlen im Gebirge Juda, Ephraim und längs des Jordanlaufes. Auch das von Höhlen und Grotten unterminirte Karstgebiet wird auffallend häufig von Erdbeben heimgesucht; dieselben sind also jedenfalls dem Einsturz solcher Hohlräume zuzuschreiben. Ferner dürften die Erderschütterungen des Visp-Thales (Wallis) im Juli und August 1855 hierher zu rechnen sein[2]). Dieselben währten länger als einen Monat und hatten nicht bloss die Bildung von Spalten im anstehenden Gestein, sondern auch den Einsturz von Mauern und das Herabgleiten von Felsmassen zur Folge. Man ist um so mehr berechtigt, jene Erschütterungen Erdfällen zuzuweisen, als sich in der dortigen Gegend nicht weniger als 20 gypsführende Quellen befinden, deren stärkste, die Lorenzquelle, allein dem Erdboden im Laufe eines Jahres über 200 Cubikmeter Gyps entzieht.

Nach G. Bischof können Erdbeben auch die Folge eines Bergrutsches sein[3]). Wird ein zwischen anderen Schichten liegendes Thonlager durch eindringende Tageswasser erweicht, so vermag dasselbe, wenn es schräg gegen ein Thal ausgeht, die Last nicht mehr festzuhalten, die sich in Folge dessen auf der geneigten, schlüpfrigen Masse abwärts in Bewegung setzt. Gemeinsame Ursache aller Bergschlipfe ist vorheriges anhaltendes Regenwetter; daher werden sie auch von Hochwassern und Trübung der Gewässer begleitet. Hieraus würde sich zugleich erklären, warum in zahlreichen Gegenden (so in den Niederungen von Peru, auf den Molukken, in Andalusien) die Regenzeit oder (wie in der Dauphiné) die Zeit der Schneeschmelze der heftigen Erdbeben wegen gefürchtet ist. Während des Bergrutsches selbst verbreiten die stürzenden Massen ein donnerähnliches Getöse und erschüttern den Boden in grösseren oder geringeren Entfernungen. In der Schweiz bewirken Bergschlipfe einen ansehnlichen Theil der hier ausserordentlich häufigen Erdbeben (von 1700—1854 nicht weniger

[1]) Aus dem Orient. Stuttgart 1867. S. 78.

[2]) O. Volger, Untersuchungen über das Phänomen der Erdbeben in der Schweiz. Gotha 1857/1858. S. 387—401.

[3]) Gustav Bischof, Lehrbuch der chemischen und physikalischen Geologie. 2. Aufl. Bonn 1866. Bd. III, S. 472—603.

als 1019). Bergschlipfe ereignen sich hier ziemlich häufig, da ihnen durch die Aufrichtung der Gebirgsketten, durch die geognostische Natur ihrer Gesteinsarten und die Fülle der Niederschläge alle Vorbedingungen in reichlichem Masse gegeben sind.

Wenn die Bildung eines Risses oder einer Kluft die erste Veranlassung der meisten Erdbeben ist, so lässt sich aus folgender Statistik ersehen, welche Nebenursachen sich hierbei wirksam zeigen. Milne hat nämlich eine Tafel von 139 schottischen und 116 englischen Erdbeben entworfen und als Durchschnitte gefunden:

	Zahl der Erdbeben.
Allgemeines monatliches Mittel	= 21,2.
Mittel der Monate von März bis August . .	= 16,1.
Mittel der Monate von September bis Februar	= 26,3.

Volger hat 1230 Erdbeben, welche in der Schweiz und ihren Nachbarländern aufgezeichnet worden waren, nach den Jahreszeiten geordnet, in denen sie eintraten (Winter = December, Januar, Februar etc.). Dabei ergab sich ein entschiedenes Vorwalten derselben im Winter; denn es ereigneten sich

im Winter	461	im Sommer	141
im Frühling	315	im Herbst	313 [1]).

Nach Lancaster wurden von 1638 bis 1870 in Neu-England an 272 Tagen Erdbeben beobachtet und zwar alljährlich im Durchschnitt

0,2	Erdbeben	im 17.	Jahrhundert
1,2	„	„ 18.	„
2,0 [2])	„	„ 19.	„

Von der Gesammtzahl der Erdbeben kommen 178 auf die Wintermonate (October bis März), dagegen nur 86 auf die Sommermonate (April bis September); bei 8 konnte Monat und Tag nicht ermittelt werden. Die Maxima der Frequenz, zu denen sich die Minima wie 1 : 3,6 verhalten, fallen in die Monate Februar und November, die Minima in die Monate April und September [3]).

Zu ähnlichen Resultaten gelangt Kluge [4]). Aus den von ihm entworfenen statistischen Tabellen geht hervor, dass vom 1. Januar 1850 bis 31. December 1857 1810 Erderschütterungen auf der nörd-

[1]) Petermann's Mittheilungen 1856, S. 87.

[2]) Diese Differenzen müssen auf die ungenügenden Aufzeichnungen in den vorigen Jahrhunderten zurückgeführt werden.

[3]) Ausland 1874, S. 219.

[4]) Ueber die Ursachen der in den Jahren 1850 bis 1857 stattgefundenen Erdbeben. S. 74.

lichen Halbkugel, 637 auf der südlichen Halbkugel, zusammen also 2447 Erdbeben verspürt wurden [1]). Von diesen erfolgten:

	Erdbeben auf der nördl. Halbkugel		Erbeben auf der südl. Halbkugel	
im Frühling	411	862	154	300
im Sommer	451		146	
im Herbst	490	948	158	337
im Winter	458		179	

Die umfassendsten statistischen Tabellen dieser Art verdanken wir dem unermüdlichen Fleisse Alexis Perrey's in Dijon. Er hat 182 vom 16. bis 19. Jahrhundert im Bassin des Rhônethales, 529 vom 9. Jahrhundert bis zum Jahre 1844 im Rhein- und Maasbassin, 270 vom 5. Jahrhundert bis 1844 im Donaubassin, 1020 vom 4. bis 19. Jahrhundert in Italien und Savoyen und 656 vom 4. Jahrhundert bis zum Jahre 1843 in Frankreich, Belgien und Holland beobachtete Erdbeben zusammengestellt, wobei sich folgende Vertheilung derselben auf die Jahreszeiten ergab:

	Frühling.	Sommer.	Herbst.	Winter.	Frühling und Sommer.	Herbst und Winter.
Rhônebassin	32	35	53	62	67	115
Rhein- und Maasbassin	103	101	165	160	204	325
Donaubassin	60	67	67	76	127	143
Italien und Savoyen . .	259	206	248	307	465	555
Frankreich, Belgien und Holland	133	137	186	200	270	386

Diese Zahlen lassen es nicht verkennen, dass im Herbst und Winter, d. h. wenn sich die Erde in Sonnennähe befindet, die Erdbeben häufiger sind als im Frühling und Sommer, d. h. zur Zeit der Sonnenferne. Auch hat Perrey durch zahlreiche Combinationen gezeigt, dass die Erdbeben öfter eintreten in den Syzygien (Neu- und Vollmondzeiten) als in den Quadraturen (erstes und letztes Mondviertel), ferner häufiger in der Erdnähe des Mondes (Perigäum) als in der Erdferne (Apogäum). Endlich lehrt die Erdbebenstatistik, dass

[1]) Die grössere Frequenz der Erdbeben auf der nördlichen Halbkugel ist keine wirkliche, sondern erklärt sich aus der schärferen Controle derselben in den Culturländern der alten Welt, sowie aus der grösseren Landbedeckung. Es gehören vielmehr einzelne Gegenden Südamerika's zu den erdbebenreichsten Gebieten. So wurden in Arequiba (Peru) von 1811 bis 1845 826, also durchschnittlich im Monat 2 beobachtet. J. J. v. Tschudi, Reisen durch Südamerika. Leipzig 1869. Bd. V, S. 358.

die Erdstösse an jeder erschütterten Stelle zahlreicher sind, wenn der Mond den Meridian des betreffenden Ortes passirt.

Dies beweist uns deutlich, dass Erdbeben stets an demjenigen Orte leichter zu Stande kommen, wo Sonne und Mond die Hebung einer Fluthwelle bewirken würden, wenn nicht festes Land, sondern ein schrankenloser Ocean dort vorhanden wäre. Diese unleugbare Thatsache hat leider zu dem irrigen Schlusse geführt, dass die Ursache der Erdbeben in Springfluthen des gluthflüssigen Erdkernes zu suchen sei[1]; ja die Schule der Vulcanisten hat sogar in dem Zusammentreffen von Erdbeben mit jenen theoretischen Fluthzeiten der Erdrinde eine Bestätigung von dem heissflüssigen Zustande des Erdinnern finden wollen. Wir stellen nun keineswegs in Abrede, dass Sonne und Mond, welche Ebbe und Fluth erzeugen, auch auf das gluthflüssige Erdinnere wirken, wenn es ein solches geben sollte. Indess müssen wir uns hüten, den Effect in solchem Falle zu überschätzen. Da unter gewöhnlichen Verhältnissen die Fluth auf offenem Meere nur selten eine Höhe von $^2/_3$ Meter übersteigt, so würde die gewöhnliche Fluthhöhe des Erdinnern nicht mehr als $^4/_{15}$ Meter betragen, wenn wir der auf dem gluthflüssigen Erdkern schwimmenden Lavamasse ein specifisches Gewicht von $2^1/_2$ zuerkennen. Doch würde die Wirkung solcher Oscillationen noch dadurch wesentlich verringert werden, dass die starre Erdrinde bereits eine ausserordentliche Mächtigkeit besitzt und somit dem Druck des feuerflüssigen Erdinnern erfolgreichen Widerstand zu leisten vermag. Besser erscheint es uns, mit einem so hypothetischen Factor, wie es das feuerflüssige Erdinnere ist, überhaupt nicht zu rechnen. In der That bedürfen wir desselben gar nicht, um die mit der Stellung des Mondes und der Sonne wechselnde Frequenz der Erdbeben zu erklären; denn jene Kraftäusserungen der beiden genannten Himmelskörper erstrecken sich auch auf die starre Erdrinde. Kann sich hier, den natürlichen Verhältnissen entsprechend, kein Wellenberg erheben, so ist doch die Tendenz, einen solchen zu bilden, stets vorhanden. Wir müssen uns die Erdschichten in der Umgebung eines Ortes, dem ein Erdbeben droht, im Zustande einer Spannung denken, der jedoch die Cohäsion noch nahezu gewachsen ist. Irgend eine Dislocation in der Erdrinde ist bevorstehend. Tritt daher bei einem Gleichgewicht von Kraft und Widerstand noch ein fluthbildendes Bestreben hinzu, so wird das Erdbeben reif. Ein bekanntes arabisches Wort lautet: Man kann ein Kameel schwer beladen; aber die Belastung erreicht schliesslich eine Grenze. Fügt man dann noch eine Feder hinzu, so bricht es zusammen. Jene

[1]) R. Falb, Grundzüge zu einer Theorie der Erdbeben und Vulcanausbrüche. Graz 1871.

Zugkraft der Sonne und des Mondes ist der Feder zu vergleichen, welche dem Kameel den Nacken bricht; sie beschleunigt den Vorgang, erzeugt ihn aber nicht in erster Linie.

Die zerstörenden Wirkungen, welche die Erdbeben an der Oberfläche hervorrufen, sind bisweilen äusserst geringfügig und kaum bemerkbar; bisweilen aber sind sie so fürchterlich, dass ihnen die Macht des Menschen rath- und hilflos gegenübersteht. Die Erdbeben von Lissabon im Jahre 1755 und von Calabrien im Jahre 1783 waren die verheerendsten, von denen Europa je heimgesucht wurde. Das erstere, welches sich am 1. November Vormittags 9 Uhr 35 Minuten ereignete, erschütterte, ohne ein anderes Warnungszeichen als ein donnerähnliches unterirdisches Getöse voraus gesandt zu haben, in kurzen und raschen Vibrationen die Fundamente von Lissabon, so dass viele Gebäude, und zwar Kirchen, Klöster und öffentliche Gebäude ebensowohl wie Wohnhäuser, in einem Momente dem Boden gleich gemacht waren; Tausende von Menschen wurden unter den Trümmern derselben begraben. Und das alles geschah in einem Zeitraume von 6 Minuten. Von ebenso entsetzlichen Wirkungen begleitet waren die Erdstösse in Calabrien im Jahre 1783. Der erste Stoss, am 5. Februar, warf in Zeit von 2 Minuten den grössten Theil der Häuser in allen Städten und Dörfern von den Westabhängen der Apenninen in Calabria ultra bis Messina in Sicilien nieder (offenbar hat die Calabrien durchziehende Granitkette auf die Fortpflanzung der Bewegung einen hemmenden Einfluss ausgeübt), und ein anderer Stoss, der am 25. März desselben Jahres erfolgte, war fast ebenso heftig. Am härtesten wurde damals die Gegend von Oppido (nördlich vom Mt. Alto) betroffen.

Noch schlimmere Verwüstungen haben einzelne asiatische Erdbeben angerichtet. Bei dem syrischen Erdbeben im Jahre 1759 wurden durch den ersten Stoss (die Erschütterungen hielten 6 Monate an) Antakie (Antiochien), Baalbek, Akka, Tarabulus in Ruinen verwandelt und 30 000 Menschen erschlagen. Am 13. August 1822 wurden in einer einzigen schrecklichen Nacht innerhalb 10 oder 12 Secunden Haleb, Antakie, Biha, Gesser, ja jedes Dorf und jedes einzelne Haus im Paschalik von Haleb zerstört; weit und breit fand man nichts als Schutthaufen. 20 000 Menschen hatten ihr Leben eingebüsst, und eine noch grössere Anzahl war verstümmelt worden.

Endlich steht auch Südamerika in Bezug auf die verheerenden Kräfte der Erdbeben keinem anderen Länderraume der Erde nach. So ward Carácas im Jahre 1812 innerhalb 30 Secunden völlig vernichtet, und am 16. August 1868 kamen in Ecuador durch ein Erdbeben innerhalb 15 Minuten 40 000 Menschen um.

Da durch Erderschütterungen die Schichten häufig zerbrochen und von grossen Spalten zerrissen werden, so ist es sehr natürlich, dass auch Niveauveränderungen, insbesondere Senkungen des Bodens nicht selten mit dem Eintritte der Erdbeben verknüpft sind. Darum benützte die ältere Schule der Vulcanisten die Erdbeben, um alle Ungleichheiten der Erdoberfläche zu erklären. Galt es in Gebirgen ein Thal zu öffnen, so wurde ein Erdbeben herbeigerufcn; sollte die Hebung eines Landes ergründet werden, so mussten die Erdbeben helfen. Dies ist jedenfalls ein Missbrauch der erderschütternden Kräfte. Doch ist es keine Frage, dass die Erdbeben häufig Senkungen zur Folge haben, wofür sich Hunderte von Beispielen anführen liessen. Es verläuft ja fast niemals ein grösseres Erdbeben, ohne dass wir lesen, es habe sich an irgend einer Stelle eine vorher nicht gekannte Vertiefung mit Wasser gefüllt. Beim Lissaboner Erdbeben versank der Kai sammt allen Schiffen, die an ihm festlagen, in's Meer. Tausende von Menschen hatten sich hierher geflüchtet, um Schutz zu suchen vor den stürzenden Gebäuden; sie alle wurden von dem sich plötzlich öffnenden Grab verschlungen, und niemals ist ein Leichnam wieder an die Oberfläche gekommen. Bald darauf fand man an der nämlichen Stelle erst bei 100 Faden (183 Meter) Grund. Bei dem calabrischen Erdbeben vom Jahre 1783, welches aus 949 Stössen bestand, denen 1784 noch 151 nachfolgten, bildeten sich nicht weniger als 215 Seen und Moräste. Am 16. Juni 1819 versank während des Erdbebens von Cutch Fort und Dorf Sindree am östlichen Mündungsarme des Indus; hierbei wurde ein Areal von 2000 engl. Quadratmeilen (= 94 deutsche Quadratmeilen) in einen See verwandelt. Nur ein Thurm des Forts blieb den Boten zugänglich [1]). So wird uns auch von verschiedenen Erdbeben in Syrien und China berichtet, dass sich unmittelbar nach ihrem Eintritt mit Seen und Morästen erfüllte Vertiefungen zeigten. Als die Mississippi-Niederungen in den Jahren 1811 und 1812 erschüttert wurden, traten an vielen Stellen Senkungen ein, von denen sich einzelne über ein weites Terrain erstreckten, wodurch Seen von 5 geogr. Meilen Durchmesser geschaffen wurden. Während des Erdbebens, welches am 20. Januar 1834 Santiago in Chile zerstörte, stürzte ein mit Wald bedeckter Landstrich von drei Stunden Länge und zwei Stunden Breite sammt dem Walde in die Tiefe hinab [2]). Bei dem Erdbeben, welches im Jahre 1868 Arica verheerte, ist die Stadt Cotacachi verschwunden; an ihrer Stelle breitet sich jetzt ein See aus.

[1]) Sir Charles Lyell, Principles of Geology. 12th ed. London 1875. Vol. II, p. 99 sq.

[2]) C. W. C. Fuchs, Die vulcanischen Erscheinungen der Erde. Leipzig 1865. S. 458 f.

Sind Einstürze und Senkungen von Land die gewöhnlichen Begleiter der Erdbeben, so sind dagegen gut beobachtete Aufrichtungen sehr selten. Früher hat man alle Hebungen den Erdbeben zugeschrieben; wäre dem wirklich so, so dürften wir erwarten, dass das aufsteigende Skandinavien öfter von Erderschütterungen beunruhigt würde, als dies der Fall ist. Wenn noch bei Sir Charles Lyell[1]) zu lesen ist, dass während des Erdbebens am 19. November 1822 die Küste in der Nähe von Valparaiso um 1 bis $1^1/_3$ Meter und weite Landstriche im Innern ebenfalls bedeutend gehoben worden seien, so gründet sich das auf Behauptungen einer Mrs. Graham. Es soll nun gar nicht geleugnet werden, dass die Küste dort steige, sondern nur dass dies nothwendig ein Verdienst von Erdstössen gewesen sei. Es befand sich nämlich damals gerade in Valparaiso der berühmte Conchyliolog Cumming, also ein vortrefflicher Naturforscher, der wohl täglich den Stand des Meeres beobachtete, und dieser versicherte ausdrücklich, dass er kein Wahrzeichen von einer plötzlichen Aufrichtung des Landes oder einer Aenderung des Meeresspiegels wahrgenommen habe. Wahrscheinlich liegt hier eine Täuschung vor, die sich leicht erklären lässt. An der Westküste von Chile vollzieht sich in der That eine seculäre Hebung des Bodens; einer derartigen, ausserordentlich langsam erfolgenden Veränderung wendet man für gewöhnlich kein besonderes Interesse zu, wohl aber nach dem Eintritt einer Katastrophe. Hierzu kommt, dass die durch das Erdbeben entstandene Woge, nachdem sie zurückgewichen ist, mit Macht wieder hereinbricht, Schlamm und Muschelreste weit landeinwärts trägt und so eine falsche, d. i. zu hohe Strandlinie bildet, wodurch sich das Land plötzlich als ein gehobenes darstellt.

Zum Zeugniss dafür, dass Hebungen durch Erderschütterungen herbeigeführt werden, beruft man sich gewöhnlich auf das Erdbeben bei Talcahuano an der chilenischen Küste (1835), wo von Fitzroy und Charles Darwin ein Emporrücken der Küste um nahezu einen Meter erkannt worden sei. Die Aeusserungen Darwin's und Fitzroy's schliessen jedoch nicht alle Zweifel aus[2]). Kurz nachher wurde

[1]) l. c. Vol. II, p. 94 sq.

[2]) Darwin äussert hierüber: „Es geht aus den Untersuchungen von Capt. Fitzroy hervor, dass sowohl die Insel Santa Maria als Concepcion, welches nur $1^1/_3$ oder $1^2/_3$ Meter emporgehoben wurde, im Verlaufe einiger Wochen sanken und einen Theil ihrer ersten Hebung verloren. Ich will nur als eine zur Vorsicht mahnende Lehre hinzufügen, dass es rund um die sandigen Ufer der grossen Bay von Concepcion wegen der störenden Wirkungen der grossen begleitenden Welle äusserst schwierig war, irgend einen deutlichen Beweis dieser beträchtlichen Erhebung zu erkennen". Charles Darwin, Geologische Beobachtungen über Südamerika. Uebersetzt von J. Victor Carus. Stuttgart 1878. S. 43.

eine nordamerikanische Expedition unter der Leitung des Kapitän Wilkes zur Erforschung jener Küste dorthin gesandt, und dieser sagt ausdrücklich: „Die Berichte der Residenten in Chile sind so widersprechend, dass kein sicherer Aufschluss erlangt werden kann. Die Abnahme der Tiefe in der Bay kann auf Rechnung der Anschwemmungen gebracht werden und rührt unzweifelhaft, insoweit sie überhaupt stattgefunden hat, davon her. Mehrere unserer Naturforscher nahmen eine genaue Untersuchung der Küste in der Nachbarschaft vor, und alle kamen in dem Resultate überein, dass kein Beweis für eine Hebung vorläge" [1]). Am auffallendsten war bei dem letztgenannten Erdbeben der Zustand der Insel S. Maria (6 geogr. Meilen südwestlich von Concepcion in Chile). Diese Insel, welche nur $1\frac{1}{2}$ geogr. Meilen lang ist, wurde an ihrem südlichen Ende $2\frac{1}{2}$ Meter, in der Mitte $2\frac{3}{4}$ Meter und am Nordende sogar 3 Meter gehoben. Ganze Lagen von Patella und Chiton, die noch den Gesteinen anhingen, zeigten sich über der Fluthlinie, und Felsen, die früher unter Wasser standen, ragten über dasselbe empor [2]). Indessen erscheint es uns auch in diesem Falle zweifelhaft, ob sich hier wirklich eine Hebung ereignete. Wenigstens kann man die oben angeführten Zahlen auch dahin deuten, dass wir es hier nur mit einer im Süden abwärts, im Norden aber aufwärts gerichteten Klappenbewegung zu thun haben.

Weit besser beglaubigt ist eine Erhebung der Küste Neuseeland's bei dem Erdbeben von Wellington am 23. Januar 1855. Die dortigen Erscheinungen wurden von drei mit den localen Verhältnissen vertrauten Personen beobachtet, und, was von besonderem Werth ist, unter ihnen befand sich der kgl. Ingenieur Edward Roberts, der gerade in dem vom Erdstoss berührten Port Nicholson (an dem Südende der Nordinsel) vor- und nachher beschäftigt war. Er erklärt, dass die Aufrichtungen $\frac{1}{3}$ bis $2\frac{3}{4}$ Meter betrugen und sich über einen Raum von 4600 engl. Quadratmeilen (216 deutsche Quadratmeilen) erstreckten. Doch traten auch gleichzeitig Spaltenbildungen und Senkungen ein [3]). Man möchte geneigt sein, hier ebenfalls eine Klappenbewegung anzunehmen, da sich die Hebung von Ost nach West verminderte und endlich in eine Senkung überging; denn während Muka-Muka Point (an der Nordwestseite der Palliser Bay) um $2\frac{3}{4}$ Meter gehoben wurde, verringerte sich der Effect bei Wellington (also weiter westwärts) auf weniger als einen Meter, und an der gegenüber liegenden Seite der Cookstrasse, an der Mündung des Wairauflusses, senkte sich das Erdreich sogar.

[1]) Fuchs, l. c. S. 451.
[2]) Charles Darwin, l. c. S. 43.
[3]) Sir Charles Lyell, l. c. Vol. II, p. 83 sq.

Dass Hebungen localer Art dann und wann Begleiter der Erdbeben sind, soll nicht in Abrede gestellt werden. Bestritten wird nur, dass Hebungen ganzer Länder durch Erdbeben bewirkt werden. Und selbst wenn ein Zusammentreffen beider erwiesen werden könnte, so würde dies doch insofern für jene Behauptung wenig beweiskräftig sein, als dann die Erdbeben jedenfalls nicht Ursache, sondern Folge des Emporsteigens wären.

Führen die Erdbeben oft gewaltige Verheerungen an der Erdoberfläche herbei, so dürfen wir auch erwarten, dass innerhalb der starren Erdrinde mächtige Spaltenbildungen, Verwerfungen, Knickungen, Verschüttungen u. s. w. im Gefolge von Erdbeben eintreten. Entzieht sich dies alles auch unseren Blicken, so besitzen wir doch unverkennbare Zeugnisse dafür. Wenn nach dem Lissaboner Erdbeben im Jahre 1755 der Carlsbader Sprudel ein paar Tage stockte und gleichzeitig die Hauptquelle zu Teplitz ausblieb, welche letztere jedoch gar bald unter heftigem Brausen und dunkelgelb gefärbt wieder hervorbrach, so haben wir uns zu denken, dass die Canäle jener Quellen verstopft wurden. Konnte dies aber noch in so weiter Entfernung vom Erschütterungsheerd geschehen, so müssen wir die bedeutendsten und weittragendsten Wirkungen auch für tiefere Erdschichten in der Nähe des Focus und bis zu diesem hinab annehmen. Zur Begründung des Gesagten erwähnen wir noch, dass in Folge des Erdbebens von Riobamba der Vulcan von Pasto am 4. Februar 1797 plötzlich aufhörte, Dampf auszustossen, dass sich ferner bei dem Erdbeben zu Visp die Temperatur der heissen Quelle im Bade Leuk um 7,4° C. erhöhte [1]; auch floss diese dreimal reichlicher, aber sichtbar getrübt. Aehnliche Erscheinungen beobachtete man auf einigen Inseln des mittelländischen Meeres am 12. October 1856 [2]. Während des Erdbebens in Lissabon soll die Temperatur der Source de la Reine in Bagnères de Luchon in den Pyrenäen plötzlich sogar um 41° C. gestiegen sein [3]. Derartige Thatsachen lassen offenbar auf die plötzliche Entstehung ansehnlicher Spalten in den Tiefen der starren Planetenhülle schliessen.

[1] Nach O. Volger ist diese Annahme nichts weniger als begründet. O. Volger, Untersuchungen über das Phänomen der Erdbeben in der Schweiz. S. 132.

[2] E. Kluge in Petermann's Mittheilungen 1858, S. 250.

[3] Gustav Bischof, Lehrbuch der chemischen und physikalischen Geologie. 2. Aufl. Bonn 1866. Bd. III, S. 546.

VI. Die Kant-Laplace'sche Hypothese und die Gluthflüssigkeit des Erdinnern.

Nachdem wir der Gestalt und Dichtigkeit der Erde, ihrer Eigenwärme und dem Emporsteigen gluthflüssiger Massen aus den Tiefen unseres Planeten eine eingehendere Untersuchung gewidmet haben, ist es uns möglich, ein Urtheil über die Beschaffenheit des Erdinnern und über den uranfänglichen Zustand unseres Planeten wie des gesammten Sonnensystems zu gewinnen.

Unter den Versuchen, die Entstehung und Entwicklung des Sonnensystems zu erklären, nimmt der des grossen Philosophen Immanuel Kant (enthalten in seiner „Naturgeschichte und Theorie des Himmels", 1755) noch heute den ersten Rang ein. Der französische Astronom Laplace sprach im Jahre 1795 in seiner „Exposition du système du monde", ganz unabhängig von Kant und mehr auf mathematische Grundlagen sich stützend, dieselben Anschauungen aus. Wir geben in dem Folgenden die Grundzüge der Kant-Laplace'schen Hypothese wieder und prüfen zugleich, ob diese Hypothese durch die moderne Naturwissenschaft widerlegt oder bestätigt wird.

In den Bewegungen aller zum Sonnensystem gehörenden Körper waltet eine grosse Harmonie. Zunächst sind die Bahnen sämmtlicher Planeten so wenig gegen einander geneigt, dass sich von ihnen beinahe sagen lässt, sie fallen in eine einzige Ebene[1]). Und wie ihre Lage, so verräth auch ihre Gestalt den einheitlichen Ursprung; denn sie sind alle wenig excentrisch, nähern sich also der Kreisform. Nur die Planetoiden befinden sich in einer Zone relativ grösserer Störungen, was bei der Geringfügigkeit ihrer Massen nichts Befremdendes hat. Ferner

[1]) So sind gegen die Erdbahn geneigt: die Mercurbahn 7° 0,2′, die Venusbahn 3° 23,5′, die Marsbahn 1° 51,1′, die Jupiterbahn 1° 18,7′, die Saturnbahn 2° 29,5′, die Uranusbahn 0° 46,5′, die Neptunbahn 1° 47′. Joh. Müller, Kosmische Physik. 4. Aufl. Braunschweig 1875. S. 143.

schreiten alle Planeten, gleich der Erde, auf ihrem Weg um die Sonne von West über Süd nach Ost vorwärts, und in gleichem Sinne umkreisen die Monde ihre Hauptplaneten. Diese Richtung aber stimmt mit der Drehung der Sonne selbst um ihre Axe, sowie mit der Rotation der Planeten und der Monde überein. Kant wusste freilich nur von Mercur, Venus, Erde, Mars, Jupiter und Saturn, sowie von dem Monde, den vier Jupiter- und vier Saturnsatelliten; aber auch Uranus und Neptun, sowie die zahlreichen Planetoiden und die Trabanten der Planeten, welche erst in nachkantischen Zeiten entdeckt wurden, erwiesen sich als rechtläufig. Nur die Uranusmonde machen eine merkwürdige Ausnahme von dem allgemeinen Gesetz; denn sie sind rückläufig, und ihre Bahnebenen stehen fast rechtwinklig auf der des Uranus. Somit dürfte sich auch die Rotation des Uranus in umgekehrter Richtung wie die der Erde vollziehen, was man allein dadurch mit den Bewegungen der übrigen Planeten in Einklang bringen kann, dass man sagt, seine Drehungsaxe habe sich mehr als 90° (nämlich 104°) von ihrer ursprünglichen Stellung entfernt. Wenn man auch aus den Ortsveränderungen des Neptunmondes geschlossen hat, dass seine Drehungsaxe wahrscheinlich eine Umbiegung von 154° erlitten hat, so ist diese Angabe nur wenig vertrauenswürdig und bedarf sehr der weiteren Bestätigung. Da weder Uranus noch Neptun und noch viel weniger ihre Trabanten entdeckt waren, als Kant jene geistreiche Hypothese über die Entwicklung des Sonnensystems schuf, so vermochten jene widerspenstigen Monde die Gedankengänge des grossen Philosophen nicht zu durchkreuzen.

Die Harmonie in den Bewegungen der Planeten konnte für Kant nichts Zufälliges sein; sie lenkte ihn hin auf die Idee, dass das ganze Sonnensystem einen gemeinsamen Ursprung habe. Nach Kant bestand dasselbe im Anfang aus einer weit über die Uranusbahn hinausreichenden sphäroidischen Dunstmasse[1]), welche hoch erhitzt war und alle diesem System angehörenden Stoffe nicht bloss in Gasform, sondern auch im Zustande der Dissociation enthielt. Dieses Dunstsphäroid befand sich nicht im Zustand absoluter Ruhe, sondern zeigte ausser seiner Fortbewegung im Raum, wie sie noch jetzt dem Sonnensystem eigen ist, noch eine Rotation von West über Süd nach Ost um die kleine Axe des Sphäroids auf der mittleren Bahnebene der späterhin

[1]) Kant's Worte (aus der Gesammtausgabe der Werke Kant's von Rosenkranz und Schubert, Bd. VI, S. 95) lauten: „Ich nehme an, dass alle Materien, daraus die Kugeln, die zu unserer Sonnenwelt gehören, alle Planeten und Cometen bestehen, im Anfange aller Dinge in ihren elementarischen Grundstoff aufgelöst, den ganzen Raum des Weltgebäudes erfüllt haben, darin jetzt diese gebildeten Körper herumlaufen."

sich bildenden Planeten. Dieser Körper rollte also wie eine Kugel im Raume fort.

Die einzelnen Theile wirkten anziehend auf einander, und aus der Summe dieser anziehenden Kräfte ging das Bestreben aller Theile hervor, nach dem Mittelpunkte zu gravitiren. Hierdurch sowohl wie in Folge fortdauernder Wärmeausstrahlung und Abkühlung an der Oberfläche wurde eine Verdichtung der Nebelmasse herbeigeführt, die sich nach den Gesetzen der mechanischen Wärmetheorie wieder in Wärme verwandelte, und so entstand ein relativ dichter Kern, welcher von einer weniger dichten Nebelhülle wie von einer Atmosphäre umschlossen wurde. Auch dieses Stadium der Entwicklung beobachten wir an gewissen Gebilden des Himmels, die man als Nebelsterne bezeichnet.

Die Zusammenziehung des Dunstsphäroids schritt weiter fort. Da nun die Centrifugalkraft (auch Schwung- oder Tangentialkraft genannt) für diejenigen Punkte eines rotirenden Körpers am grössten ist, welche am weitesten von der Drehungsaxe desselben entfernt liegen, so kamen entferntere Theile, welche sich der Axe näherten, mit einer Geschwindigkeit an, die grösser war als die der neuen Lage entsprechende. Mit der Verdichtung des Gasballs wuchs daher auch die Geschwindigkeit der Rotation, wodurch zugleich die Centrifugalkraft vergrössert wurde. Nun ist die Gravitation im Centrum, die Schwungkraft hingegen an den äquatorialen Theilen einer rotirenden Masse am grössten. Durch fortgesetzten Rückzug des Dunstsphäroids nach dem Centrum und durch die unmittelbar hieraus folgende Beschleunigung der Rotationsgeschwindigkeit gelangten die äusserenTheile endlich nach einem Punkte, wo sich Schwungkraft und Gravitation das Gleichgewicht hielten. Diejenigen äquatorialen Theile nun, welche gleich stark unter dem Einfluss der einen wie der andern Kraft standen, nahmen nicht weiter an dem Rückzug Theil, weil die Schwungkraft die Wirkung der Gravitation aufhob; sie trennten sich als Nebelring von dem Nebelsphäroid und setzten die Rotation um den Centralkörper mit selbstständiger Rotationsgeschwindigkeit fort. Aber auch weiterhin verlor dieser an Volumen; er verdichtete sich mehr und mehr, wodurch die Schwungkraft abermals vergrössert wurde, und es löste sich ein neuer Ring an derjenigen Stelle ab, wo sich wiederum Schwungkraft und Gravitation das Gleichgewicht hielten, wo also die ringförmige äquatoriale Masse der weiteren Contraction des Nebelsphäroids nicht folgen konnte.

Das eben Dargestellte lässt sich kurz in folgende Sätze zusammenfassen: Von einem rotirenden Sphäroid trennt sich dann ein Ring ab, wenn den in Folge der Rotation am Aequator anschwellenden Massen eine

Schwungkraft mitgetheilt wird, welche der Wirkung der Gravitation auf diese Theile des Sphäroids gleich ist. Je weiter die durch die Gravitation herbeigeführte Verdichtung fortschreitet, desto mehr beschleunigt sich die Rotation; je beschleunigter die Rotation, desto grösser die Schwungkraft am Aequator; je grösser diese, desto näher eine Ringbildung.

Im Kleinen beobachten wir eine solche heute noch am Saturn. Wie hier mehrere concentrische Ringe den Hauptplaneten umspannen, so umgaben einst (wenn auch nicht gleichzeitig) so viele Ringe den Sonnenkörper, als sich Planeten um die Sonne bewegen, und zwar begann sich immer dann ein neuer innerer Ring abzulösen, wenn am Aequator des Nebelsphäroids Gleichheit zwischen Centrifugalkraft und Gravitation eintrat.

Diese Ringe aber konnten ebenfalls nur vergängliche Erscheinungen sein. Zunächst erlangten sie allein dadurch eine gewisse Breite und Dicke, dass der zuerst entstandene Ring die unmittelbar angrenzenden Dunstmassen an sich riss, die natürlich andere Rotationsgeschwindigkeiten und Centrifugalkräfte besassen und so das Gleichgewicht innerhalb des Ringes störten. Vielleicht trugen auch die Anziehungskräfte der Nachbarplaneten, sowie Veränderungen des Aggregatzustandes oder chemische Verbindungen innerhalb des Ringes hierzu bei.

Erfolgte nun an einer Stelle desselben eine Anhäufung von Stoff, so raffte diese vermöge ihrer grösseren Anziehungskraft immer mehr Theile des Ringes an sich, führte eine Trennung desselben an der gegenüber liegenden Stelle herbei und vereinigte endlich alle Masse des ursprünglichen Ringes in sich. Oefter zertheilte sich wahrscheinlich der Ring in viele Stücke; doch bewahrte nur der Planetoidenring eine solche Zersplitterung; in den übrigen Fällen zog der Hauptheil alle anderen an sich. Die aus dem Ringe hervorgegangenen Massen setzten ihren Weg um die Sonne fort, nahmen aber auch zugleich eine Rotationsbewegung von West nach Ost an, weil die äusseren Theile des Ringes eine grössere Geschwindigkeit hatten als die inneren und in diesem Sinne nach dem Zerreissen des Ringes voraneilten. Durch die Rotation aber erhielten jene gasförmigen oder flüssigen Massen wieder eine sphäroidische Gestalt. Bei ihnen wiederholte sich, wenn auch nicht immer vollständig, Abplattung und Ringbildung; aus den Planetenringen aber entwickelten sich Monde. Die verschiedenen Stadien dieses Processes sind theilweise heute noch sichtbar und besonders durch Saturn und sein Gefolge auf's herrlichste illustrirt.

Wenn die äusseren Planeten ein zahlreiches Gefolge und eine weit grössere Masse haben als die inneren, so erklärt sich dies zum Theil

daraus, dass die äusseren Ringe, aus denen sie sich bildeten, einen viel grösseren Umfang hatten und somit auch aus viel ansehnlicheren Massen bestanden.

Da ferner im Sinne der Kant-Laplace'schen Hypothese die äusseren Ringe sich zuerst loslösten, die inneren später, als der allgemeine Verdichtungsprocess schon weit fortgeschritten war, so müssen auch die letzten Producte der Ringabsonderungen dichter sein als die früheren, und in der That stimmen die folgenden Zahlen hiermit überein. Betrachtet man nämlich die mittlere Dichtigkeit der Erde als Einheit, so ergiebt sich als Dichtigkeit für Neptun 0,16, für Uranus 0,16, für Saturn 0,13, für Jupiter 0,24, für Mars hingegen 0,95, für die Erde 1,00, für Venus 0,91, für Mercur 1,22. Freilich sind diese Zahlen, die verhältnissmässig nur geringe Anomalien zeigen, insofern nicht ganz beweiskräftig, als die vier inneren Planeten in Folge ihrer Kleinheit stärker erkaltet und somit mehr verdichtet sind als die vier äusseren, welche es nur ihrer Grösse verdanken, dass sie sich noch im glühendflüssigen Zustande befinden, da die Massenverhältnisse der Kugeln wie die Cuben, die Wärme ausstrahlenden Oberflächen hingegen nur wie die Quadrate der Kugeldurchmesser wachsen. Wichtiger noch ist in dieser Hinsicht die Thatsache, dass die Dichtigkeit der Satelliten, wie dies für den Mond und die Jupitertrabanten nachgewiesen ist, geringer ist als die der Hauptplaneten, zu denen sie gehören.

Durch einen sinnreichen Apparat gelang es Plateau, den Werdeprocess des Sonnensystems gleichsam im Wasserglase zu wiederholen. Er senkte nämlich vorsichtig mit Hilfe einer Pipette Olivenöl in ein Gefäss mit Wasser, welchem er durch Zusatz von Alkohol genau die specifische Schwere des Olivenöls gegeben hatte. Der in dem neutralisirten Raume schwebende Oeltropfen nahm augenblicklich Kugelgestalt an, und so oft neue Tropfen eingeführt wurden, vereinigten sie sich mit dem ersteren zu einer grösseren Kugel. Wurde nun mittelst einer kleinen Scheibe, die an einer drehbaren Axe befestigt war und in die Mitte der Kugel zu liegen kam, die Oelkugel in Rotation versetzt, so plattete sich bei langsamer Rotation die Kugel an den beiden Polen ab. Wurde die Geschwindigkeit langsam vermehrt, so löste sich ein Ring ab, welcher sich im Sinne des Oelsphäroids bewegte. Bei vergrösserter Geschwindigkeit, die sich durch die Flüssigkeit auch dem Oelringe mittheilte, zerriss derselbe, um einzelne Kugeln zu bilden, welche in gleicher Weise, wie vorher der Ring, die Hauptkugel umkreisten und gleichzeitig in derselben Richtung wie diese sich um ihre Axe drehten. Wurde die Geschwindigkeit rasch vermehrt, so gelang es sogar, statt des Ringes sofort Kugeln und zwar zuerst grössere und hierauf kleinere zu erhalten. Sind auch bei dem Pla-

teau'schen Experiment theilweise andere Kräfte mit thätig, so die eigenthümlichen Spannungen an der Oberfläche von Flüssigkeiten, während bei der Entstehung des Sonnensystems fast einzig und allein die Gravitation als centralisirende Macht auftritt, so bleibt doch die Wirkung der Centrifugalkraft hier wie dort eine gleiche.

Schenken wir schon deshalb der Kant-Laplace'schen Hypothese unsere Gunst, weil sie uns den Bau des Sonnensystems und seine mathematischen Verhältnisse in einfacher und ungezwungener Weise zu erklären vermag, so gewinnt sie durch das Plateau'sche Experiment noch mehr Vertrauenswürdigkeit.

Ferner haben die neueren spectroskopischen Untersuchungen Ergebnisse geliefert, welche mit jener Hypothese gut übereinstimmen. Durch das Spectroskop ist nämlich erwiesen, dass die sogenannten Nebelflecke nicht immer Sternenhaufen sind, die sich wegen ungeheurer Entfernung von dem irdischen Beobachter nicht in Sternenschaaren zerlegen lassen, sondern dass wirklich glühende Dunstmassen im Weltraum schweben. Dürfen wir diese für unverdichteten Urstoff, für Stoff zu neuen Sternenbildungen halten, — und dafür lassen sich gewichtige Gründe anführen (vgl. S. 33 ff.) — so liegt der Gedanke ausserordentlich nahe, dass auch unser Sonnensystem aus solchen Nebelmassen hervorgegangen ist.

Endlich können wir zur weiteren Begründung der Kant-Laplace'schen Hypothese noch die Thatsache erwähnen, dass zahlreiche und fast nur irdische Grundstoffe auf der Sonne vorhanden sind, welche sich, in Dampfform aufgelöst, einem Schleier gleich über den Leuchtkörper der Sonne ausbreiten, und dass ferner die planetarischen Lufthüllen hinsichtlich ihrer chemischen Zusammensetzung der irdischen Atmosphäre nahe verwandt sind. Das ganze Sonnensystem wird demnach im Wesentlichen aus gleichartigen Elementen gebildet, worin wir offenbar eine Hindeutung auf einen gemeinsamen Ursprung des Sonnensystems erkennen dürfen.

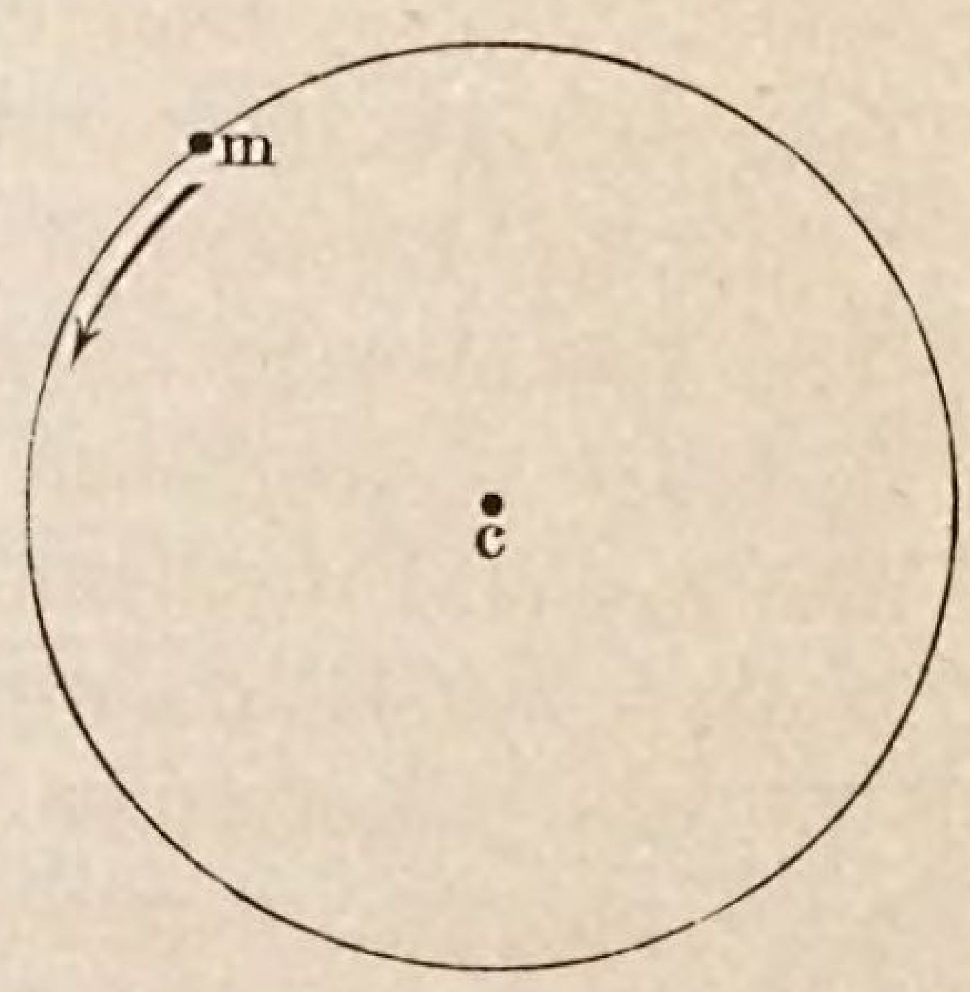
Die Entwicklung des Erdkörpers würde also nach der Kant-Laplace'schen Hypothese folgende gewesen sein: Die Stoffe, aus denen der Erdball jetzt besteht, waren im Anfang Dunstmassen, welche dem grossen, den Raum des Sonnensystems erfüllenden Nebelsphäroid angehörten. In Folge allmählich zunehmender Verdichtung und beschleunigter Rotationsgeschwindigkeit sonderten sie sich — wie die Stoffe eines jeden der anderen Planeten — als Nebelring von der inneren Hauptmasse ab. Dieser Nebelring zerriss endlich und ballte sich zu einem relativ kleinen Nebelsphäroid zusammen, das, zugleich rotirend, in der Richtung von West nach Ost die centrale Nebelmasse umkreiste.

Jener Verdichtungsprocess aber schritt auch innerhalb des Erdkörpers ununterbrochen weiter fort und führte schliesslich zu einer Veränderung des Aggregatzustandes der Erde; aus dem Nebelball wurde eine flüssige Kugel, welche natürlich immer noch von einer sehr beträchtlichen Atmosphäre umgeben war. Nun ist jede Compression eines Körpers von einer bedeutenden Wärmeentwicklung begleitet, also auch diejenige der Erde. Diese Wärme aber wurde in unserem Falle dazu verwendet, die Temperatur des Erdkörpers ansehnlich zu erhöhen. Demnach erscheint der Schluss berechtigt, dass die Erde, eben in Folge jener Contraction, vormals ein glühendflüssiger Ball war. Indessen liesse sich auch denken, dass jener Verdichtungsprocess ganz allmählich erfolgte und dass durch Ausstrahlung stets die durch Compression erzeugte Wärme verloren gegangen sei. Somit darf die Kant-Laplace'sche Hypothese durchaus nicht angerufen werden zur Erhärtung der Gluthflüssigkeit des Erdballs in früheren geologischen Zeitaltern, selbst wenn wir davon absehen wollten, dass es wissenschaftlich nicht erlaubt ist, eine Hypothese aus einer anderen abzuleiten.

Wir wollen nun in dem Folgenden die Thatsachen prüfen, welche als Zeugnisse für eine ehemalige Gluthflüssigkeit des Erdkörpers angeführt werden können.

Gewöhnlich wird hier zuerst darauf hingewiesen, dass die Erde an ihren beiden Polen abgeplattet ist. Theoretisch lässt sich der Grad der Abplattung einer rotirenden Kugel, die noch nicht in den Zustand der Erstarrung übergegangen ist, in folgender Weise feststellen:

Fig. 41.



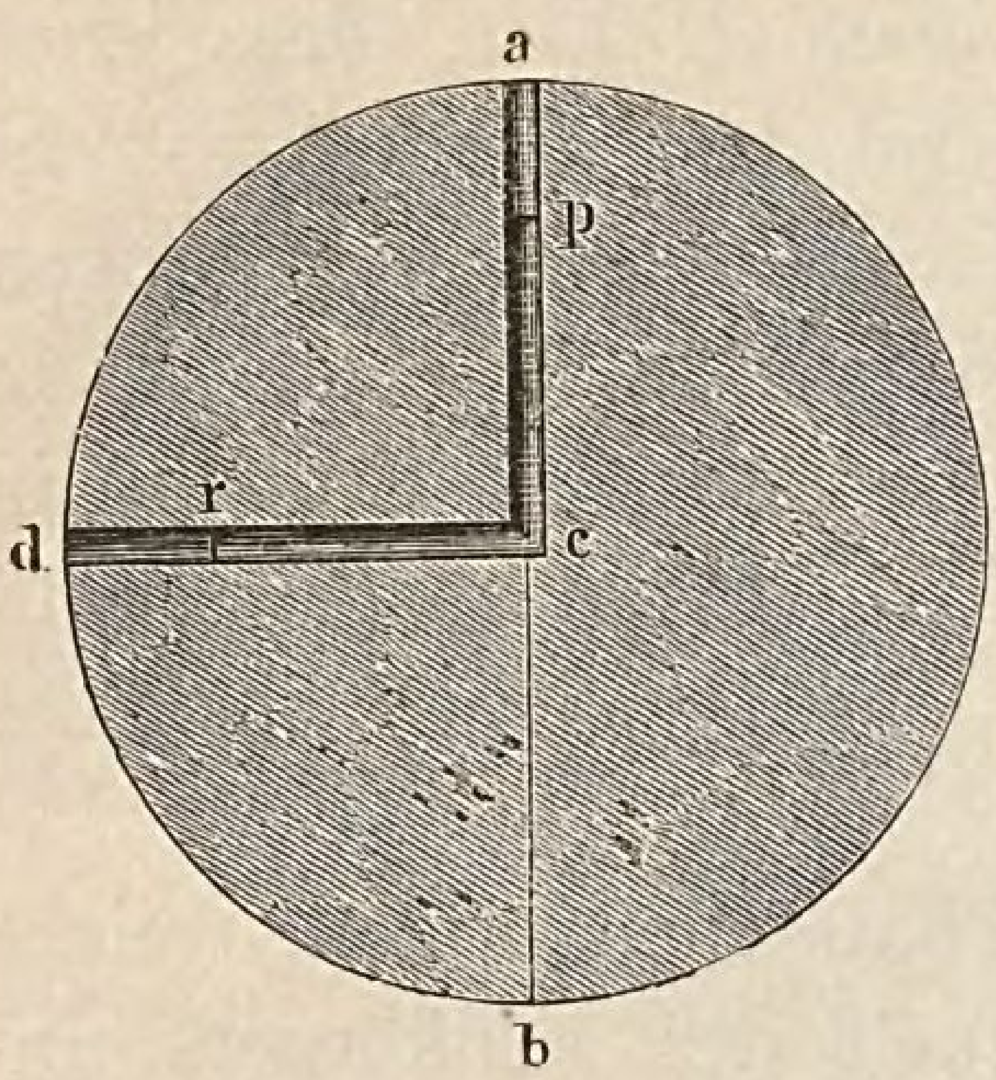
Ein Körper m, welcher den Punkt c umkreist (Fig. 41), äussert beständig das Bestreben, sich von dem Mittelpunkte seiner Bahn zu entfernen. Bezeichnen wir mit f die Grösse der Fliehkraft des Körpers m am Aequator, mit r den Radius der Kreisbahn, mit T die Umlaufszeit in Secunden und mit π das Peripherieverhältniss 3,14, so ist $f = \frac{4\pi^2 r}{T^2}$. Die Länge des Aequatorialhalbmessers beträgt aber 6 377 377 Meter und die Umlaufszeit (d. i. ein Sterntag) 86 164 Secunden; es ist also $f = \frac{4 . 3{,}14^2 . 6\,377\,377\,\text{M.}}{86\,164^2} = 0{,}0339$ Meter.

Da nun die Fliehkraft der Schwere direct entgegenwirkt, so ist die Beschleunigung der Schwere am Aequator in Folge der Erdrotation

um 0,0339 Meter geringer als an den Polen; sie ist gleich 9,7807 Meter (statt 9,8146 Meter). Es ist demnach die Kraft, mit welcher ein Körper gegen die Erdoberfläche herabgezogen wird, in Folge der Axendrehung am Aequator um $^1/_{290}$ kleiner als an den Polen. Die Abplattung der Erde ist nun ein Resultat der durch die Fliehkraft am Aequator verminderten Schwere.

Dies erklärt sich am einfachsten in der folgenden Weise[1]): *ac* und *dc* (Fig. 42) stellen zwei mit Wasser gefüllte Canäle dar, welche im Mittelpunkt der Erde zusammentreffen und von denen der eine am Nordpol *a* und der andere bei einem Punkte *d* des Aequators mündet. Im Zustande der Ruhe erreicht das Wasser in beiden Canälen dieselbe Höhe; bei eintretender Rotation um die Axe *ab* aber verliert die Schwerkraft bei *d* $^1/_{290}$ ihres Werthes. Betrachten wir eine zweite in der Aequatorialröhre liegende Wasserschicht *r*, welche nur $\frac{1}{n}$ so weit von *c* entfernt ist wie *d*, so ist hier zwar die Fliehkraft *n* mal geringer; zugleich aber ist auch (nach dem Gesetze der allgemeinen Massenanziehung) die Kraft, mit welcher die Schicht *r* gegen *c* hinstrebt, *n* mal kleiner als das Gewicht einer gleichen Wasserschicht bei *d*. Mithin wird auch hier der Zug der Schwere durch die Fliehkraft um $^1/_{290}$ vermindert; er ist um $^1/_{290}$ kleiner als die Zugkraft, welche auf die gleichweit von *c* abstehende Schicht *p* in der Polarröhre wirkt. Ganz dasselbe gilt für alle entsprechenden Schichten der beiden Röhren. Es ist demnach klar, dass in Folge der Erdrotation die Gesammtkraft, welche das Wasser in der Röhre *dc* gegen den Erdmittelpunkt treibt, um $^1/_{290}$ kleiner ist als dieselbe Kraft in der Röhre *ac*. Somit muss, wenn Gleichgewicht des Wassers in beiden Canälen stattfinden soll, die Wassersäule in der Aequatorialröhre um $^1/_{290}$ länger sein als die Wassersäule in der Polarröhre *ac*. War die Erde vormals eine flüssige Kugel, so müssten Aequatorial- und Polarhalbmesser dasselbe Grössenverhältniss besitzen wie die Wassersäulen in den hypothetischen Röhren, d. h. die Erde müsste eine Polarabplattung von $^1/_{290}$ zeigen. In der That stimmt dieser Abplattungswerth in überraschender Weise mit den Ergebnissen der Meridian-

Fig. 42.



[1]) Vgl. Joh. Müller, Lehrbuch der kosmischen Physik. 4. Aufl. Braunschweig 1875. S. 67.

messungen überein. Somit darf die Abplattung der Erde als eine Folge ihrer Axendrehung angesehen werden, und somit erscheint der Schluss berechtigt, dass unser Planet ehemals ein flüssiger Körper war.

Indessen hat diese Beweisführung, so überzeugend sie auf den ersten Blick ist, schliesslich doch für unsere Zwecke nur einen relativ geringen Werth. Sie lässt nicht bloss die Möglichkeit noch offen, dass die Erde ehemals aus einer flüssigen Masse von verhältnissmässig niedriger Temperatur bestand oder sogar eine kalte plastische Substanz war, sondern gestattet sogar die Annahme eines von Anfang an völlig starren Erdkörpers, da, wie Sir John Herschel und nach ihm Gustav Bischof dargethan hat[1]), auch ohne einen plastischen Zustand der Erdmasse eine Abplattung derselben hätte eintreten können.

Denken wir uns die Erde als eine reine Kugel von kalten, nicht dehnbaren Gesteinsmassen, aber umgeben von einer Wasserhülle, deren Rauminhalt den heutigen Weltmeeren und Binnenseen entspricht, so müsste diese Wasserhülle, so lange die Erde fern von allen Himmelskörpern im Weltraum ohne eine Bewegung schwebte, überall gleiche Tiefe haben oder mit anderen Worten eine concentrische Schale um die mineralische Kugel bilden. Sowie sich jedoch die Erde als Planet im Sonnensystem um ihre Axe zu bewegen begann, mussten sich die Wassermassen aus den Polarcirkeln zurückziehen; sie häuften sich am Aequator an und verloren bis zu dem festen Lande an den Polarkreisen mehr und mehr an Tiefe. Da dieses Meer bei verschiedener Polhöhe verschieden erwärmt wurde, so mussten zur Ausgleichung dieser Wärmeunterschiede Strömungen entstehen. Diese benagten die Küsten der trocken gebliebenen Polarkreise und transportirten ihre Erosionsproducte nach dem Aequator hin, um die dortigen Meerestiefen streckenweise auszufüllen. In gleichem Sinne wirkten die unmittelbar auf der Meeresfläche dahin eilenden Polarwinde. Setzten sich diese Vorgänge durch grosse Zeiträume fort, so mussten sie schliesslich eine Anschwellung des festen Erdkernes am Aequator hervorrufen, was offenbar gleichbedeutend ist mit einer Abplattung an den Polen.

Die Möglichkeit derartiger Vorgänge lässt sich a priori wohl kaum in Frage stellen. Auch schienen gewisse Thatsachen darauf hinzudeuten, dass sie einst wirklich stattfanden. Insbesondere wurde geltend gemacht, dass der atlantische Ocean in der Nähe von Grönland und Island sehr seicht ist, und man glaubte schon, im höchsten Norden auf sehr geringe Meerestiefen zu stossen. Diese Vermuthung hat sich je-

[1]) Gustav Bischof, Die Gestalt der Erde und der Meeresfläche. Bonn 1867.

doch nicht bestätigt; im Gegentheil wurden nördlich und westlich von Spitzbergen im Jahre 1868 Tiefen von mehr als 2000 Faden, an einer Stelle sogar von 2600 Faden gemessen [1]). Wir haben somit zur Zeit genügenden Grund, selbst an der Möglichkeit einer durch Erosion herbeigeführten Abplattung zu zweifeln.

Viel besser als aus der Abplattung lässt sich die ehemalige Flüssigkeit des Erdkörpers aus seinem specifischen Gewicht erweisen. Die mittlere Dichtigkeit unseres Planeten beträgt 5,6 (vgl. S. 181). Diese Zahl muss überraschen, wenn man bedenkt, dass das specifische Gewicht der Felsmassen, welche die feste Erdrinde bilden, nicht einmal halb so gross ist (2,4 bis 2,6), während das der continentalen und oceanischen Oberfläche zusammen dem Werthe 1,5 nahe kommt. Daraus folgt, dass die Dichtigkeit des Erdinnern nicht bloss den oben erwähnten Mittelwerth, sondern wahrscheinlich sogar den Werth 10 überschreitet. Erwägt man noch, dass Mittelpunkt und Schwerpunkt der Erde zusammenfallen, so ergiebt sich, dass die gleichdichten Massen des Erdinnern als concentrische Schichten den Erdkern umspannen und zwar in der Weise, dass ihr specifisches Gewicht nach dem Erdmittelpunkte zu stetig wächst, bis es in der Nähe desselben eine hohe metallische Schwere, etwa die des Silbers erreicht. Eine derartige Vertheilung der Massen setzt unbedingt eine leichte Beweglichkeit innerhalb derselben, also Flüssigkeit aller Theile voraus. Ein Schluss auf ein gluthflüssiges Material kann auch in diesem Falle nicht gezogen werden.

Die ausserordentlich hohen und nach dem Erdmittelpunkte sich steigernden Temperaturen des Erdinnern rechtfertigen jedoch auch die Annahme einer einstmaligen Gluthflüssigkeit. Wäre nämlich die Erde im Anfang eine kaltflüssige Masse mit geringer Eigenwärme gewesen, so müsste ihr Inneres schon längst die Temperatur des Weltraumes (nach Pouillet's Berechnung — 142° C.) besitzen, und nur die Sonnenwärme vermöchte diesem gefrorenen Ball an seiner Oberfläche höhere Temperaturen zu verleihen. Dann aber müsste man beim Eindringen in die Erdrinde eine Verminderung der Temperatur beobachten, während doch im Gegentheil eine Erhöhung derselben zu bemerken ist (vgl. S. 188 ff.). Wir können noch hinzufügen, dass in diesem Falle längst schon Wasser und Luft von der Erdoberfläche verschwunden und, dem Gesetz der Schwere folgend, in das Erdinnere hinab-

[1]) Die schwedischen Expeditionen nach Spitzbergen und Bären-Eiland, ausgeführt in den Jahren 1861, 1864 und 1868 unter Leitung von O. Torell und A. E. Nordenskjöld. Jena 1869. S. 501. 502. Vgl. auch Otto Krümmel, Versuch einer vergleichenden Morphologie der Meeresräume. Leipzig 1879. S. 86.

gesunken sein müssten, da hier jene hohen Wärmegrade fehlen würden, welche heute noch Wasser und Luft in hoch erhitztem Zustand nach der Erdoberfläche zurücktreiben und so diesen Aufsaugungsprocess verhindern (vgl. S. 53. 101 f.).

Als letztes Argument für die vormalige Gluthflüssigkeit des Erdkörpers führen wir noch die früher (S. 93 ff.) besprochenen physischen Zustände der äusseren Planeten an. Der noch mächtig brodelnde, Dämpfe ausstossende Jupiter und der wiederholt „vierschultrig“ gesehene Saturn sind zweifellos heute noch glühend-flüssige Welten. Dasselbe gilt wahrscheinlich auch von Uranus und Neptun; wenigstens weisen ihre relativ bedeutende Leuchtkraft und ihr geringes specifisches Gewicht darauf hin. Hat die Erde denselben Entwicklungsgang gehabt wie die genannten Planeten, — und wir haben keine Gründe, für sie eine besondere Kosmogonie in Anspruch zu nehmen, aber viele, sie mit den übrigen Planeten unter ein und dasselbe Bildungs- und Entwicklungsgesetz zu stellen — dann muss sie einst ein gluthflüssiger Körper gewesen sein.

Der gluthflüssige Erdball konnte auch diesen Aggregatzustand nicht für die Dauer behalten, da er durch einen eisigen Himmelsraum dahineilt, dessen Temperatur vielleicht — 142° C. beträgt. Er verlor allmählich durch Ausstrahlung soviel Eigenwärme, dass in ähnlicher Weise, wie wir es jetzt auf der Sonnenoberfläche beobachten, Schlacken entstanden, welche nach und nach ein immer grösseres Terrain bedeckten und schliesslich die gluthflüssige Masse mit einer starren Kruste überzogen. In der Epoche der ältesten Erdrevolutionen mag der Verlust, den die Centralwärme der Erde erlitt, sehr beträchtlich gewesen sein; jetzt aber ist er für unsere Instrumente kaum messbar.

Nun erhebt sich die Frage: Ist das Erdinnere jetzt noch gluthflüssig, oder ist bereits der ganze Erdkörper bis in's Centrum eine starre Masse? Sind überhaupt die in grösseren Tiefen ermittelten hohen Temperaturen in Verbindung zu bringen mit dem gluthflüssigen Zustande des Erdballs in früheren geologischen Zeitaltern?

Man hat häufig die Thatsache, dass sich im Erdinnern ausserordentlich hohe Wärmegrade vorfinden, aus chemischen Processen abgeleitet, welche dort ununterbrochen Wärme erzeugen. Wollen wir auch die Existenz derartiger Processe nicht in Abrede stellen, so darf man doch mit Sicherheit behaupten, dass in den uns zugänglichen Tiefen so intensive und allgemein verbreitete chemische Processe nicht bekannt sind, aus welchen sich die dort beobachtete Wärme erklären liesse.

Doch müssen wir uns ebenso sehr davor hüten, die Temperaturen des Erdinnern zu überschätzen. Vor allen Dingen darf man nicht

glauben, dass die Wärmegrade, die in den obersten Stockwerken der Erde durchschnittlich auf je 33 Meter um 1° C. wachsen, gleichmässig mit der Tiefe, also in arithmetischer Progression zunehmen (vgl. S. 197 ff.). Dieses Gesetz gilt jedenfalls nur für die uns erreichbaren Tiefen; auf grössere Tiefen angewandt würde es zu Folgerungen führen, welche durch andere Erscheinungen widerlegt oder doch sehr zweifelhaft gemacht werden. In einer senkrechten Tiefe von 37620 Metern, also von c. 5 geogr. Meilen, würde hiernach die Erdwärme bereits 1140° C. betragen, woraus man sogar weiter den Schluss gezogen hat, dass hier granitische Massen im feuerflüssigen Zustande existiren. Solche in der Jugendhitze des Vulcanismus ausgesprochene Lehren sind jetzt nicht mehr haltbar. Erstens steigert sich die Wärme in grösseren Tiefen weniger rasch als an der Oberfläche, so dass die geothermischen Tiefenstufen in grösseren Tiefen auch grössere Werthe erlangen, bis zuletzt wahrscheinlich eine Grenze sich vorfindet, unterhalb welcher die Temperatur bis zum Erdmittelpunkte ziemlich constant ist. Zweitens aber sind die aus Versuchen im Laboratorium bekannten Schmelztemperaturen für Gesteine hier nicht brauchbar, weil der Schmelzpunkt aller Stoffe unter anderem auch durch den auf ihnen lastenden Druck bedingt ist und mit dem Drucke thermometrisch erhöht wird. Im Laboratorium herrscht nur der Druck einer Atmosphäre, also einer 760 Millimeter hohen Quecksilbersäule: eine verschwindend kleine Grösse gegen eine Felsenlast von 5 oder 10 geogr. Meilen Mächtigkeit! Je grösser aber der Druck ist, um so mehr hindert er die Beweglichkeit der unter seinem Einflusse stehenden Molecüle; also werden Substanzen bei grossem Druck einer grösseren Wärme bedürfen, um flüssig zu werden, als bei vermindertem Druck, ganz analog, wie Wasser auf hohen Bergen bei geringerem Luftdruck früher, d. h. bei niedrigeren Temperaturen zu sieden beginnt als am Meeresspiegel. Welche Wärme bei dem Druck gewaltiger Felslager erforderlich ist, um die Substanzen der Erde in feuerflüssigem Zustand zu erhalten, lässt sich bis jetzt nicht genau ermitteln. Der Druck, welchem das Material innerhalb der Erde unterworfen ist, kann in keinem Laboratorium erzeugt werden; seine Wirkungen können also nicht durch Experimente direct bestätigt werden. Schon in einer Tiefe von 150 engl. Meilen (37½ geogr. Meilen) würde er gegen eine Million Pfunde auf einen engl. Quadratzoll betragen: ein Druck, der vielleicht schon hinreicht, die gluthflüssigen Massen in den festen Aggregatzustand überzuführen[1]. So lange also nicht

[1]) James D. Dana, Results of the Earth's Contraction in: the American Journal of Science and Arts. July 1873, p. 11.

gezeigt werden kann, dass die ausdehnende Kraft der Wärme an einer gewissen Grenze die zusammendrückende Kraft der Schwere überwindet, wird es verstattet sein, sich zu denken, dass die Erde starr sei bis in das innerste Mark.

Ist die Wärme so gewaltig, dass nur der Druck die Felsarten verhindert, flüssig zu werden, so kann eine plötzliche Beseitigung des Druckes, vielleicht durch Spaltenbildung, stark erhitzte, aber bis dahin noch starre Gesteinsmassen in Fluss bringen. In diesem Sinne ist daher auch der Ausbruch von Laven aus tiefen Erdspalten nichts weniger als ein untrüglicher Beweis von dem schmelzflüssigen Zustande des Erdinnern.

Um in jedem Falle die Gluthflüssigkeit des Erdinnern zu retten, hat man behauptet, dass sich die Felsen der festen Erdkruste wie Brückenbogen über das gluthflüssige Erdinnere spannen, wodurch die vom Erdinnern zu tragende Last bedeutend vermindert werde. Dieses Argument ist jedoch ebenso wenig stichhaltig wie die anderen; denn wenn auch manche Theile des Erdinnern auf diese Weise gegen den directen Druck der über ihnen lagernden erstarrten Schichten geschützt sein sollten, so ruhen doch auf den Pfeilern jenes Gewölbebaues um so grössere Lasten, und der von ihnen ausgeübte seitliche Druck würde ein Aequivalent sein für den directen Druck von oben, welchen die unter den Bogen befindlichen Massen entbehrten [1]).

Mehr noch dürfte die mineralogische Gleichförmigkeit der Laven und Auswürflinge aller auf dem weiten Erdkreis liegenden thätigen Vulcane für einen gemeinsamen ungeheuren Schmelzofen in der Tiefe zeugen. Indessen liesse sich diese Erscheinung auch durch die Annahme mächtiger Spalten erklären, welche den festen Erdkern durchziehen und den gluthflüssigen Massen eine Communication gestatten.

Einen ganz eigenthümlichen Weg zur Lösung des Problems von einem gluthflüssigen Erdinnern hat W. Hopkins betreten [2]). Der Mond stört nämlich die Erde beim Fortschreiten auf ihrer Bahn, und indem er auf ihre äquatoriale Anschwellung wirkt, ruft er diejenige rotatorische Bewegung der Erdaxe hervor, welche das Vorrücken der Tag- und Nachtgleichen (Praecession genannt) zur Folge hat. Der Nordpol des Himmels beschreibt demnach um den Pol der Ekliptik

[1]) Sir John Herschel, Physical Geography. 5th edition. Edinburgh 1875. § 6, p. 7.

[2]) Researches in Physical Geology in den Philosophical Transactions of the R. Soc. of London. Vol. CXXIX (1839), p. 381 sq.; Vol. CXXX (1840), p. 193 sq. und Vol. CXXXII (1842), p. 43 sq.

einen Kreis und ist somit in steter Wanderung begriffen. Der Stern α des kleinen Bären, der bekannte Polarstern, welcher sich gegenwärtig bis auf $1\frac{1}{2}$ Grad dem Nordpol des Himmels nähert, war zur Zeit Hipparch's (in der Mitte des 2. Jahrhunderts v. Chr.) noch fast 12 Grad von demselben entfernt, während er im Jahre 2095 am meisten, nämlich bis auf 26 Minuten Entfernung gegen den Nordpol des Himmels vordringen wird. Nach 12000 Jahren wird α Lyrae dem Nordpol nahe sein. Da jener Rückgang der Tag- und Nachtgleichen im Laufe eines Jahres $0^{\circ}\ 0'\ 50{,}10''$ beträgt, so sind 25 868 Jahre nöthig, bis die Aequinoctien die ganze Ekliptik durchlaufen oder, was dasselbe ist, bis die Pole des Himmels die Pole der Ekliptik einmal umkreisen. Doch ist diese Bewegung keine gleichförmige, sondern erleidet kleine Schwankungen, deren Periode ungefähr $18\frac{1}{2}$ Jahre dauert. Sie entstehen dadurch, dass sich die Erdaxe der Axe der Ekliptik abwechselnd etwas nähert und sich dann wieder von ihr entfernt. Letztere Veränderungen in der Richtung der Erdaxe bezeichnet man als Nutation.

Hopkins lehrt nun: Jene Kraftäusserungen des Mondes müssten andere sein, wenn die Erde eine flüssige Lavakugel, bedeckt mit einer dünnen, abgekühlten Rinde, wäre; sie müssten andere sein, wenn die Erstarrung bereits bis zu grossen Tiefen fortgeschritten wäre, andere endlich, wenn die Erde bis zum Mittelpunkt starr wäre. Es galt nun, durch Rechnung zu finden, welcher dieser drei Zustände den beobachteten Erscheinungen am besten entspricht. Hierbei ergab sich nun, dass dieselben anders erfolgen müssten, als sie wirklich eintreten, wenn die Erde eine flüssige Kugel mit dünner, kalter Hülle wäre. Dagegen lässt sich behaupten, dass die Erscheinungen den Beobachtungen entsprechen würden, wenn die Erde durch und durch starr wäre. Endlich wurde ermittelt, dass, wenn die Praecession der Tag- und Nachtgleichen und die Nutation der Erdaxe in der beobachteten Weise vor sich gehen sollten, die Erde mindestens auf 172 bis 215 geogr. Meilen Tiefe oder bis zu einem Fünftel oder Viertel ihres Halbmessers starr sein müsste.

Hopkins' Theorie ist jedoch nicht unantastbar. Zwar erfreut sie sich noch immer der Anerkennung der meisten Mathematiker und Astronomen; allein es haben sich auch bedeutende Stimmen gegen sie erhoben. So hat Delaunay bereits im Jahre 1868 begründete Zweifel über Hopkins' Beweisführung geäussert, ebenso Mallet im Jahre 1873 [1]. Namentlich bezeichnen sie dieselbe deshalb als fehler-

[1] R. Mallet, On volcanic Energy in den Philosophical Transactions of the R. Soc. of London. Vol. CLXIII (1873), p. 151 sq.

haft, weil sie nicht bloss die Zähflüssigkeit des Erdkernes, sondern auch die Reibung an der Fläche, wo sich die feste Kruste und die flüssige Masse im Innern berühren, vernachlässige.

Um die vulcanischen Erscheinungen erklären zu können, nahmen Hopkins und die Anhänger seiner Theorie an, dass sich hie und da innerhalb der festen Kruste und zwar nahe der Oberfläche sehr grosse Höhlungen befinden, welche mit leichter schmelzbaren, bis auf den heutigen Tag noch flüssig gebliebenen Materialien erfüllt sind und gleichsam kolossale Blasenräume darstellen, die ganze Seen von feurig-flüssiger Masse umschliessen. Durch diese Construction gewinnt Hopkins allerdings den erforderlichen Apparat, um unter Mitwirkung noch anderer Bedingungen die vulcanischen Eruptionen überhaupt erklären zu können. Indess erweist sich dieser Apparat nach den obigen Auseinandersetzungen als überflüssig, da ja überhitzte Massen, die unter grossem Drucke starr sind, sofort flüssig werden, sobald in Folge Zerklüftung und Verschiebung des Gesteins eine genügende Entlastung eintritt.

In Hinsicht auf die hohen Temperaturen des Erdinnern wie die Gluthflüssigkeit desselben gehört das bedeutende magnetische Moment des Erdkörpers zu den grössten Räthseln der physischen Erdkunde, da sich die beiden ersteren kaum mit beharrlichem Magnetismus vereinbaren lassen. In Rücksicht auf den letzteren möchte man fast geneigt sein, an dem feuerflüssigen Zustand des Erdkernes zu zweifeln.

Aus unseren Betrachtungen geht deutlich hervor, dass zur Zeit über den Aggregatzustand des Erdinnern noch kein endgiltiges Urtheil ausgesprochen werden kann. Mag es auch wahrscheinlich sein, dass der Erdkern aus einer gluthflüssigen Masse besteht, so ist es doch ebenso wahrscheinlich, dass die starre Erdkruste bereits eine bedeutende Mächtigkeit erreicht hat. Wäre dies nicht der Fall, so müsste überdies der Verlust des Erdkörpers an Eigenwärme sehr beträchtlich sein, und die unmittelbar damit zusammenhängende Erdcontraction würde sich bald durch die Beschleunigung der Erdrotation deutlich wahrnehmbaren Ausdruck verschaffen. Da aber dieser sehr empfindsame Messer einer etwaigen Erdcontraction bisher keinen solchen Vorgang mit Sicherheit erkennen lässt, — im Gegentheil ist ja der Tag seit Hipparch's Zeiten jedenfalls in Folge des Anpralls der Fluthwelle an die östlichen Ränder der Continente um einen allerdings ausserordentlich kleinen Werth länger geworden (vgl. S. 50) — so sind wir zu dem Schlusse berechtigt, dass die Erdkruste bis in grosse Tiefen hinab erstarrt ist.

VII. Schichtenbau der abgekühlten Erdrinde.

A. Allgemeine Vorbemerkungen.

(Rückblick auf die Anfangszustände der Erde. Sedimentäre und eruptive Gesteine. Das Alter geologischer Schichten und Schichtenstörungen. Geologische Karten.)

Die Astrophysik hat auf manigfache Thatsachen aufmerksam gemacht, welche der Entstehung des Sonnensystems aus einer grossen sphäroidischen Dunstmasse günstig sind. Die sogenannten planetarischen Nebel, runde oder ovale, scheibenähnliche Gewölke am Sternenhimmel, deren Zahl nach Sir John Herschel 25 beträgt und die A. v. Humboldt als „die wundersamsten Erscheinungen des Himmels" bezeichnet [1]), mögen sich noch im ersten Stadium der Entwicklung befinden, während sich bei den Nebelsternen (nebulous stars, d. h. wirklichen, von einem milchigen Nebel umgebenen Sternen) im Centrum bereits ein gluthflüssiger Körper gebildet hat. Die meisten der Fixsterne aber haben sich schon zu flüssigen, weissglühenden Kugeln verdichtet. Auf unserer Sonne beobachten wir unverkennbare Anzeichen eines noch weiter fortgeschrittenen Abkühlungsprocesses: die Sonnenflecken, welche periodisch in grösseren Mengen wiederkehren. Fixsterne von röthlicher Färbung, z. B. ein Stern des Cepheus (Nr. 7582 des Katalogs der britischen Association), welchen Sir William Herschel wegen seiner ausserordentlichen Röthe den Granatstern genannt hat [2]), sind wahrscheinlich der völligen Erstarrung ihrer Oberfläche noch näher, zumal die Mehrzahl von ihnen periodisch an Lichtstärke zu- und abnimmt. So bewegen sich die Helligkeitsveränderungen gewisser Sterne zwischen weiten Grenzen. Variabilis Scuti (des Sobieski'schen Schildes) sinkt bisweilen von der fünften bis zur neunten

[1]) Kosmos. Bd. III, S. 331.

[2]) A. v. Humboldt, l. c. Bd. III, S. 235.

Grösse herab. Im Maximum hat der Lichtwerth von χ Cygni zwischen 6,7^m und 4^m, von Mira zwischen 4^m und 2,1^m geschwankt. Am raschesten wiederholen sich die Perioden des Lichtwechsels bei β Persei, nämlich in 68 Stunden 49 Minuten; doch vermuthet man, dass dieser Stern durch einen lichtlosen Begleiter verdunkelt werde. Bei 30 Hydrae Hevelii hingegen währt diese Periode 495 Tage.

Dass die Planeten und auch unsere Erde ähnliche Entwicklungsstadien durchlaufen haben, wurde bereits früher (S. 77 und 283) angedeutet. Es musste endlich ein Zeitpunkt eintreten, in welchem die oberflächlichen Stoffe unseres Planeten nach Massgabe ihres Schmelzpunktes in den festen Aggregatzustand übergingen. Anfänglich bedeckten wahrscheinlich nur einige relativ kleine Schollen die gluthflüssige Oberfläche, welche periodisch durch die aus dem Innern aufsteigende Wärme wieder aufgelöst wurden, aber in immer reicherer Anzahl und in bedeutenderer Grösse wiederkehrten, bis sie endlich nicht mehr wichen, und so war die Bildung einer festen Kruste eingeleitet.

Dieser Mantel aber passte nicht genau zu dem gluthflüssigen Kern. Früher legte man um die Fässer heisse Eisenreife, weil sich dieselben beim Abkühlen zusammenziehen und so die Dauben des Fasses besser zusammenhalten. Würden wir jedoch eine Granitmasse mit einem heissen Reifen umspannen, so würde derselbe beim Abkühlen zerspringen, weil der Granit nicht soviel nachgiebt, als der Reif verlangt. Von ganz ähnlichen Erscheinungen war im Anfang die Abkühlung des gluthflüssigen Erdballs begleitet. Mit der Erstarrung war nothwendig eine Contraction verbunden[1]; der gluthflüssige Erdkern aber widerstand zunächst dieser Contraction und zersprengte die äussere starre Hülle. Die auf diese Weise hervorgerufene prismatische Zerstückelung derselben war jedenfalls die erste Veranlassung kleinerer Unregelmässigkeiten auf der Oberfläche unseres Planeten.

Sobald die starr gewordenen Oberflächenschichten eine ansehnliche Mächtigkeit erreichten, hatte die weitere Abkühlung des Erdinnern wesentlich andere Wirkungen. In Folge fortgesetzter Erkaltung ver-

[1]) Fr. Pfaff in Erlangen hat für einige Gesteine die Grösse der Contraction von der Glühhitze bis zur gewöhnlichen Temperatur festgestellt. Er benützte hierzu Säulen von Granit aus dem Fichtelgebirge, von rothem Porphyr aus Tirol und Basalt aus der Auvergne und fand, dass sich bei einer linearen Erstreckung von $3^1/_4$ Metern für diese Gesteine von der Rothglühhitze bis zur gewöhnlichen Temperatur eine Contraction ergeben müsste:

bei Granit von 0,16 = 5,4 Centimeter,
bei Porphyr von 0,12 = 3,4 Centimeter,
bei Basalt von 0,12 = 3,4 Centimeter.

Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft. Bd. XXIV (1872), S. 403.

kürzte auch der gluthflüssige Kern seinen Durchmesser. Nun hätte sich die Erdrinde eigentlich ablösen und als eine freie concentrische Hülle den flüssigen Kern umschliessen müssen. Innere Masse und äussere Umhüllung passten ebenso wenig zu einander wie der Kern einer Nuss, welcher in seiner Schale klappert. Nach dem Gesetz der Schwere konnte jedoch ein solcher Mantel unmöglich den Kern frei umschweben; die Decke brach stellenweise bis zum gluthflüssigen Kern hinab und schmiegte sich, gewissermassen einen Faltenwurf bildend, an den Erdkern an. Könnten wir die obersten Schichten der Erde, welche jetzt vielfach gebogen und theilweise sogar über einander geschoben sind, aus ihrer jetzigen Lage herausnehmen und, indem wir sie genau aneinander fügten, eine von allen Unebenheiten befreite Kugelschale aus ihnen herstellen, so würde dieselbe hinsichtlich Grösse und Form der ursprünglich starren Hülle des gluthflüssigen Erdkörpers entsprechen. Warum gerade diese oder jene Theile der Erdoberfläche zu einem tieferen Niveau herabsanken, warum sich also die Weltmeere und die Continente gerade an den bekannten ihnen zugehörigen Räumen befinden, dürfte sich wohl niemals mit einiger Sicherheit bestimmen lassen. Wir können höchstens vermuthen, dass der Gegensatz zwischen oceanischen Tiefen und continentalen Höhen aus der örtlich relativ raschen oder langsamen Abkühlung der tieferen Erdschichten hervorgegangen ist. Vollzog sich dieselbe auf einem Raume vergleichsweise schnell, so entstanden im Erdinnern Hohlräume. Diese stürzten endlich zusammen, und an der Einbruchsstelle sammelten sich die tiefen oceanischen Wasser. Da hingegen, wo die Abkühlung allmählich erfolgte, ragten fortan die Continente als gewaltige Hochländer über das Niveau des Meeres empor. Der Seespiegel hat übrigens bei diesen Umwandlungen oft geschwankt, und dasselbe gilt natürlich von den Contouren der Festlande. Viele Ländergebiete sind wiederholt unter das Niveau des Meeres hinabgetaucht und aus dem Schosse desselben wieder emporgestiegen. So haben im Saarbrückener Kohlenbecken elfmal hinter einander Seebrandung und Flusswellen, wahrscheinlich aber bloss erstere, handgreifliche Spuren hinterlassen.

Bei näherer Untersuchung des Gesteins, aus welchem die Erdrinde zusammengesetzt ist, treten auch dem Uneingeweihten zwei grundverschiedene Formen deutlich entgegen. Da, wo Sandsteine, Schiefer oder Kalksteine vorherrschen, bemerken wir einen auffallenden Parallelismus der Lagen; erleidet eine Schicht irgendwo eine Biegung, eine Veränderung in der Richtung, so gehorchen meist auch alle anderen dieser Abweichung. Solche Gesteine könnten wir hinsichtlich ihres architektonischen Aufbaues als g e s c h i c h t e t e bezeichnen. Einen strengen Gegensatz zu denselben bilden die ungeformten Massen der Granit-,

Basalt- oder Porphyr-Berge. Bei ihnen finden wir keine Spur von geordneter Schichtung; vielmehr liegen zahlreiche grössere oder kleinere Krystalle regellos durcheinander. Hinsichtlich ihrer Structur führen sie daher mit Recht den Namen Massengesteine.

Als charakteristische Merkmale der geschichteten Gesteine sind hervorzuheben: Ihre Lagen sind durch parallele Flächen begrenzt, und mit der Schichtung vereint ist gewöhnlich eine den Schichtungsflächen parallele schieferige Structur. Ferner sind sie charakterisirt durch das Vorkommen von Rollstücken, welche offenbar dem Wasser ihre abgerundeten Formen verdanken, und endlich schliessen sie nicht selten Reste von Thieren und Pflanzen ein, die entweder nur als Abdruck oder in Mineralsubstanz umgewandelt erhalten sind. Alle diese Merkmale aber sind auch den heutigen Absätzen der süssen Gewässer und Meere eigenthümlich. Sie würden den nämlichen Anblick gewähren, dieselbe Zusammensetzung zeigen und abgerundete Rollstücke, sowie versteinerte Thiere und Pflanzen uns überliefern, wenn sie trocken gelegt würden und erhärteten. Man darf daher mit Sicherheit annehmen, dass die geschichteten Gesteine entweder aus einer wässerigen Lösung auskrystallisirt oder aus mechanischen Absätzen des Wassers hervorgegangen sind; man bezeichnet sie deshalb gewöhnlich als Sedimentärgesteine. Meist sind dieselben Ablagerungen des Meeres, während Schichten, welche durch Bäche und Flüsse in Sümpfen und Seen geschaffen worden sind, nur eine untergeordnete Bedeutung haben. Das Material aller Sedimentärgesteine stammt ursprünglich von älteren Felsarten, denen es durch die chemische oder mechanische Thätigkeit des Wassers entführt wurde. Bildete sich das Gestein durch einfachen Absatz gelöster oder fortgeführter Substanzen, so nennt man es minerogen; sind jedoch die Ueberreste organischer Körper dabei wesentlich, so ist es, je nachdem dies Thiere oder Pflanzen sind, zoogen oder phytogen.

In den krystallinischen Massengesteinen sucht man vergebens nach echter Schichtung und Schieferung; organische Ueberreste fehlen gänzlich; auch besitzen die hierher gehörenden Gesteine, z. B. Basalt oder Porphyr, keinerlei petrographische Verwandtschaft mit einem durch wässerigen Niederschlag in der Gegenwart entstandenen Mineralgemenge. Hingegen werden wir überrascht durch die grosse Aehnlichkeit der den Vulcanen entströmenden Lava selbst mit manchen älteren krystallinischen Massengesteinen; wir dürfen ihnen daher den gleichen Ursprung wie dieser zuschreiben, weshalb für sie der Name eruptive Gesteine völlig zutreffend ist. Sie sind offenbar in engen oder weiteren Canälen als gluthflüssige Massen aus der Tiefe emporgestiegen und hierauf erstarrt. Die Eruptivgesteine sind sowohl durch ihre massige

Structur, als auch durch die Abwesenheit von organischen Resten, durch säulenförmige oder sphäroidische Absonderung, glasige, schlackige Beschaffenheit, sowie durch das Vorhandensein von Glassubstanz zwischen und Glaseinschlüssen in den krystallinischen Mineralelementen charakterisirt. Die eruptiven Gesteine durchsetzen die übrigen in Form von Gängen oder Stöcken. Eruptiver Natur sind die Basaltgesteine, die Andesite und Trachyte, sowie die Syenite, Diorite, Melaphyre, Porphyrite und Diabase. Der Granit ist jedenfalls doppelten Ursprungs. Wo er, wie in der laurentischen und huronischen Formation, mächtige Glieder der ältesten sedimentären Schichtenreihe bildet, ist er offenbar ein sedimentäres Gestein; wo er hingegen in Gängen und Stöcken das Nebengestein durchbricht, ist er wohl zweifellos einstmals als gluthflüssige Masse aus den Tiefen emporgepresst worden.

Wie lässt sich nun das Alter geologischer Schichten feststellen? Nach der Anschauung früherer Geologen änderte das allgemeine Meer, auf dessen Grunde sich die verschiedenen Formationen ablagerten, nach und nach seine Beschaffenheit, damit zugleich aber auch die Qualität seiner Ablagerungen. Insoweit dieselben gleichzeitig erfolgten, mussten sie demnach auch gleichartig sein: zu einer Zeit setzte das Meer nur Kalkstein, und zwar überall denselben, zu einer anderen Zeit nur Sandstein und zwar auf der ganzen Erdoberfläche von gleichem Korn und gleicher Farbe ab. Später jedoch zeigte sich, dass diese Anschauung zwar für kleinere Gebiete Giltigkeit hat, aber nicht für grössere Länderräume, wie sie sich denn auch nur aus der Untersuchung eines beschränkten Theiles von Mitteleuropa ergeben hat.

Zunächst ist hier darauf hinzuweisen, dass schon innerhalb eines und desselben Meeres die Ablagerungsproducte je nach der geringeren oder grösseren Entfernung von der Küste verschieden sein müssen. Wird eine Steilküste durch das brandende Meer zum Einsturz gebracht oder werden durch mächtige Sturmfluthen grössere Blöcke, Kiesel und feinere Theile an's Ufer gespült, so liegen sie hier zunächst regellos durcheinander. Ebbe und Fluth jedoch, sowie der regelmässige Wellenschlag wirken hier wie ein Schlämmwerk: sie führen die feinsten, schlammigen Massen den tieferen Theilen des Oceans zu, wo demnach Mergel- und Thonschichten aufgeschüttet werden; nach dem Ufer zu folgen Straten von Sand; an der Küste selbst aber finden wir Ablagerungen von grobem Kies. Gelangt in die Zwischenräume solcher Niederschläge des Meeres feines thoniges oder sandiges Material oder werden dieselben (nach ihrer Trockenlegung) durch ein kalkiges, kieseliges oder eisenschüssiges Cement aus eindringenden Mineralsolutionen ausgefüllt, so werden die losen Anhäufungen zu festen Massen verkittet. Schlammschichten werden auf diese Weise zu Thonen

und Mergeln, Sandschichten zu Sandsteinen, gröbere Kiesmassen zu Conglomeraten oder Breccien. Je nachdem die Ablagerungen dem Festlande, der Küste oder dem offenen Oceane angehörten, spricht man von einer continentalen, littoralen oder oceanischen Facies. So besteht die Steinkohlenformation, wo sie typisch entwickelt ist, aus einem unteren kalkigen (Kohlenkalk), einem mittleren, conglomeratartigen oder sandigen (flötzleerer Sandstein) und einem oberen, kohlenführenden Schichtencomplex. Die drei genannten Stadien repräsentiren Tiefsee-, Strand- und Sumpf- oder Süsswasserbildung, und wir dürfen demnach aus diesem Schichtenbau auf eine seculäre Hebung, auf ein Emporsteigen des Bodens aus oceanischen Tiefen schliessen. In ähnlicher Weise, aber in umgekehrter Folge (wir müssen hier eine Senkung des Bodens unter das Niveau des Meeres annehmen) reihen sich in der deutschen und englischen Dyas von unten nach oben aneinander: das kohlenführende Rothliegende (continentale Facies), eine Sandstein- und Conglomerat-, also Strandformation und darauf eine Kalkstein-Dolomit-Gyps-Formation (Tiefseebildung). Wurden somit an den Gestaden eines Meeres und in geringerer oder grösserer Entfernung von denselben gleichzeitig Schichten von ganz verschiedenem petrographischem Charakter abgelagert, so kann von einer Gleichartigkeit der Sedimente innerhalb eines und desselben Meeres nicht die Rede sein.

Aus dem Vorkommen einer gewissen Steinart kann um so weniger auf das geologische Zeitalter ihrer Bildung geschlossen werden, als der petrographische Habitus der Sedimentärgesteine ein verhältnissmässig sehr gleichförmiger ist, was einfach darin seinen Grund hat, dass immer wieder dieselben mineralischen Stoffe gelöst oder abgenagt und in's Meer geschwemmt wurden, somit auch im allgemeinen immer die gleichartigen Sedimente sich niederschlagen mussten. Es soll damit übrigens nicht geleugnet werden, dass sich gleichaltrige Schichten in manchen Gegenden nicht aus dem Gesteinsmaterial bestimmen liessen. So wird der roth oder bunt gefärbte Sandstein in den Vogesen und im Schwarzwald nach unten und oben von den gleichen Formationsgliedern begrenzt; offenbar haben wir es hier mit einer und derselben Ablagerung zu thun, welche durch die oberrheinische Tiefebene in zwei isolirte Stücke zerschnitten ist. Auch die weitere Verbreitung dieser Schicht durch den Odenwald nach Hessen und Thüringen lässt sich Schritt für Schritt verfolgen. In diesem Gebiete gewährt uns also die Gesteinsbeschaffenheit ein vorzügliches Mittel, das Gleichaltrige selbst an entfernten Punkten sofort zu erkennen. Doch würde eine weitere Verallgemeinerung dieser Thatsache zu dem Schlusse, dass alle rothen oder bunten Sandsteine sich zu derselben Zeit gebildet hätten, den grössten Irrthum enthalten. Es giebt Sandsteine in Schott-

land und Nordamerika, welche dem oben genannten äusserst ähnlich sind und doch in keinen genetischen Zusammenhang mit ihm gebracht werden dürfen; denn ihre Decken wie ihre Unterlagen bestehen aus ganz verschiedenaltrigem Gestein [1]).

Da mehrere Formationen nach gewissen Gesteinsarten bezeichnet werden, z. B. die Flysch- [2]), Kreide-, Lias- [3]), Keuper- [4]), Muschelkalk- und Buntsandsteinformation, so könnte dies zu der Meinung veranlassen, dass wenigstens einigen Formationen gewisse Felsarten ausschliesslich und allein angehören. Es ist dies jedoch durchaus nicht der Fall. Einestheils wiederholen sich dieselben Sandsteine und Kalksteine, vielfach auch Mergel, Thone und Conglomerate fast in allen Formationen; anderntheils aber sind in den meisten derselben zahlreiche Gesteinsarten vertreten. So ist beispielsweise das vorwaltende Material der Kreideformation auf Rügen, bei Calais und Dover weisse Schreibkreide, in der sächsischen Schweiz Sandstein, in Hannover und Braunschweig Mergelkalk und plastischer Thon, in Frankreich, Belgien und dem östlichen Nordamerika Glaukonitmergel und im westlichen Californien krystallinischer Schiefer [5]).

Es ist hier daran zu erinnern, dass die Formationsnamen nichts anderes sind als chronometrische Nothbehelfe. Einfache Zeitausdrücke sind nur für die vier grossen Abtheilungen im Gebrauch: nämlich die Ausdrücke primär, secundär, tertiär und quartär. Für ihre Unterabtheilungen bedient man sich theils einiger Ortsnamen, wie cambrische, devonische, jurassische, permische Formation, welch letztere Benennung man beispielsweise solchen Felsarten beilegt, die gleichzeitig abgelagert wurden wie gewisse Formationsglieder, die im Gouvernement Perm beobachtet wurden, oder es sind petrographische Bezeichnungen noch aus alter Zeit im Gebrauch (s. oben), wobei man z. B. unter der Kreideformation nichts anderes versteht als Felsarten, welche zu einer Zeit niedergeschlagen wurden, in welcher sich an gewissen Orten Kreide bildete. Endlich haben wir Namen, die sich auf die eingeschlossenen Versteinerungen beziehen, wie Steinkohlenformation, Eocän-, Oligocän-, Miocän-, Pliocän-Stufe der Tertiärformation. Dies alles aber sollen rein chronometrische Ausdrücke sein.

Auf welche Weise kann man nun bestimmen, ob Schichten, die

[1]) Karl A. Zittel, Aus der Urzeit. 2. Aufl. München 1875. S. 54.

[2]) So wird in der Schweiz eine mächtige Schichtengruppe von dunkel gefärbten Schiefern, Mergeln und Sandsteinen genannt.

[3]) Provincialname für thonigen Kalkstein in Somerset.

[4]) Provincialname für einen dolomitischen Mergel bei Coburg.

[5]) Herm. Credner, Elemente der Geologie. 3. Aufl. Leipzig 1876. S. 351.

vielleicht durch weite Zwischenräume von einander getrennt sind, gleichen Alters sind oder ob die eine oder die andere von ihnen relativ jung oder alt ist? Hierzu besitzen wir im wesentlichen nur ein Hilfsmittel: die Versteinerungen, jene Ueberreste aus der Thier- und Pflanzenwelt, welche, wenn auch oft nur in kümmerlichen Spuren, in den verschiedensten Formationen sich vorfinden. Die Paläontologie, d. i. die Wissenschaft von den Faunen und Floren der Vorwelt, ist eine Geschichte der Trachten. Ein Kenner von Alterthümern wird uns z. B. leicht sagen können, dass ein Helm aus der Zeit des römischen Kaiserthums, ein Harnisch aus dem Zeitalter der Kreuzzüge, Zaum- und Sattelzeug aus der Periode der Renaissance, ein spanischer Hut aus dem 17. Jahrhundert, ein Degengriff aus der Rococozeit stammt. Nicht so rasch wie unsere Moden wechseln, wohl aber nach Ablauf grosser Zeiträume, hat auch die Natur eine Tracht nach der anderen abgelegt, nur dass sie ihr Gewand nicht aus todtem Stoff, sondern aus dem Leben selbst gewebt hat. Von besonderer Bedeutung dabei ist es, dass sich jede derartige Aenderung im allgemeinen gleichzeitig auf der ganzen Erde ereignete und dass niemals die Fauna und Flora einer früheren Periode wiederkehrte. Je tiefer wir durch verschiedene Formationen in den Schoss der Erde hinabgelangen, um so mehr entfremden sich die organischen Formen den heutigen Trachten der Thier- und Pflanzenwelt. Wir steigen, wie sich A. v. Humboldt ausdrückt, von Gruft zu Gruft, aus der Gegenwart durch die nahe Vergangenheit zu einer Vorzeit, für die uns jeder chronometrische Ausdruck fehlt.

Natürlich erfolgte die Umgestaltung der Thier- und Pflanzenwelt niemals wie mit einem Zauberschlage auf der ganzen Erde, sondern in der unendlichen Reihe zahlloser Generationen vollzog sich eine ganz allmähliche Annäherung an die heutige Schöpfung. Umwandlung und Einwanderung der Organismen waren vielfach von localen Verhältnissen abhängig; auch verstrichen geraume Zeiten, ehe neu auftretende Formen sich überall hin verbreiteten, alte auf isolirten Ländergebieten durch neue verdrängt wurden. Streng genommen dürfen wir daher nicht behaupten, dass Formationen mit gleichen oder ähnlichen Versteinerungen gleichaltrig seien. Allein da überall auf Erden derselbe Entwicklungsprocess stattgefunden hat und überall dieselben organischen Typen in gleicher Reihe auf dem Schauplatze der Schöpfung erschienen, so ist die Annahme gleichen relativen Alters für äquivalente Formationen erwiesen. So ist die devonische Formation an allen Punkten der Erdoberfläche, so weit man Kunde von ihr hat, jünger als die Silurformation, aber älter als die Steinkohlenformation, weshalb sie überall, wo alle drei vorhanden sind, zwischen den beiden anderen

lagert. Die laurentische Gneissformation ist stets die älteste, die Tertiärformation meist die jüngste der Formationen. Dagegen lässt sich nicht feststellen, dass die devonische Formation Europa's Millionen von Jahren älter oder jünger sei als die Amerika's, was uns auch ganz gleichgiltig sein kann, da wir unser gewöhnliches Zeitmass überhaupt nicht auf geologische Vorgänge übertragen können.

Nicht plötzlich, sondern ganz allmählich gingen, wie bereits erwähnt wurde, jene Umwandlungen vor sich; immer kamen nur einzelne Formen als neue zu den älteren hinzu, während von diesen wiederum nur einzelne ausstarben. Somit sind auch nicht alle fossilen Reste einer Formation charakteristisch für dieselbe, sondern nur solche, deren Existenz auf eine Periode beschränkt blieb. Man nennt dieselben Leitfossilien. So sind die Nummuliten Leitfossilien der Tertiärformation, die Hippuriten der Kreideformation, die Belemniten der Kreide- und Juraformation, die Sigillarien und Stigmarien der devonischen und der Steinkohlenformation, die Graptolithen der Silurformation.

Es kann demnach, um ein Beispiel anzuführen, unsere sogenannte europäische Kreideformation in den verschiedensten Räumen der Welt und unter den verschiedensten Klimaten wieder erkannt werden, selbst da, wo auch nicht ein Körnchen mineralischer Kreide dabei gefunden wird, wie z. B. in Nordamerika, Südamerika, Feuerland, Capland und Indien. In diesen weit entfernten Räumen zeigen die in den Schichtungen eingeschlossenen Formen die überraschendste Aehnlichkeit mit denen in unseren sogenannten Kreidebildungen. Nicht dass die nämlichen Arten wiederkehrten; denn oft haben sie auch nicht eine gemeinsame Art; alle Arten aber zählen zu gemeinsamen Familien und Gattungen und sind oft genug nur durch oberflächlich eSculpturen von einander unterschieden Sonst aber fehlen über und unter der „Kreide" aller Orten die nämlichen Formen.

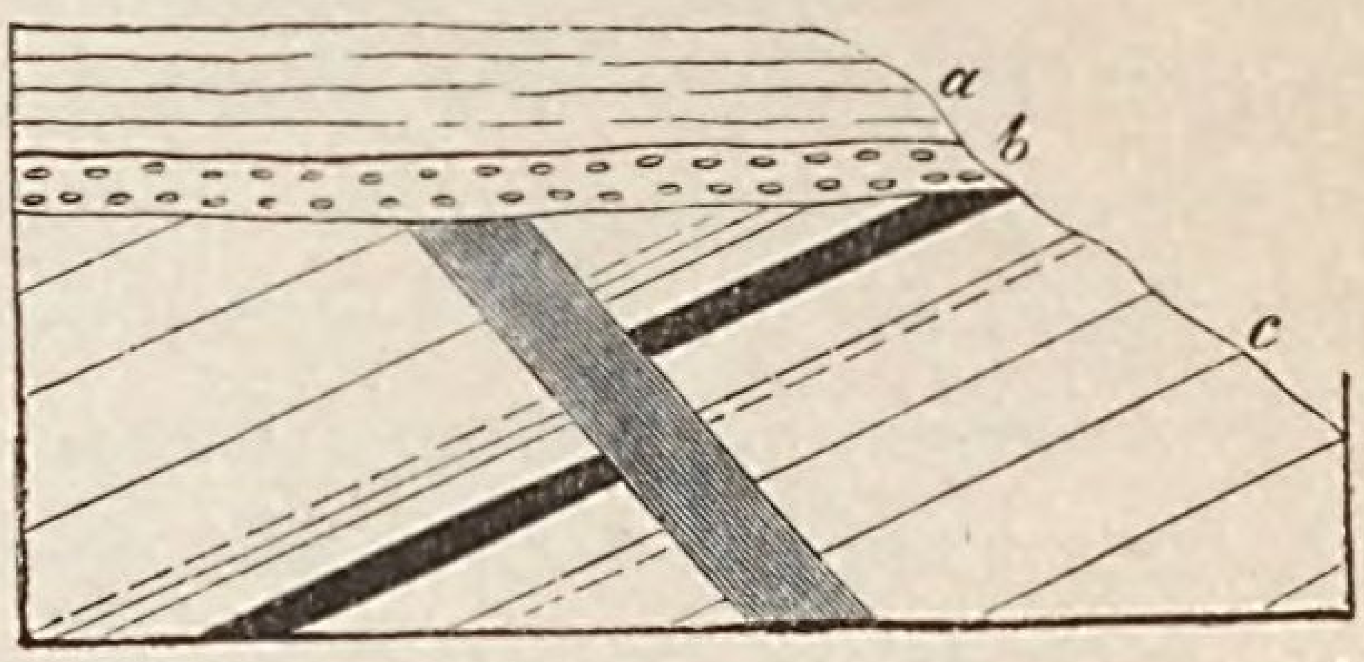
Lehren uns die fossilen Ueberreste der Sedimentärgesteine die Zeit ihrer Ablagerung, d. h. die Zeit ihrer Entstehung beurtheilen, so vermögen wir da, wo mehrere Schichten einander ungleichförmig (discordant) überdecken, aus den Lagerungsverhältnissen der Gesteine den Zeitpunkt zu bestimmen, in welchem die ursprüngliche Lage eine Störung erlitten hat. Auch hier kann es sich um nichts anderes als um Feststellung des relativen Alters handeln; es lässt sich also von der Zeit der Schichtenstörung nur sagen, dass sie früher oder später als ein anderes geologisches Ereigniss eingetreten sei.

Können sich Gesteine irgendwo ruhig ablagern, so folgen die neueren Bildungen den älteren immer in horizontalen Schichten. Wurden aber, bevor ein späterer Niederschlag zu Boden fiel, die älteren Schichten gefaltet, geknickt oder verworfen, so füllte die jüngere Bil-

dung zunächst die vorhandenen Faltungen und Thäler aus. Ueberall da, wo sich horizontal liegende Schichten über Schichten mit gestörten Lagerungsverhältnissen ausbreiten, ereignete sich demnach der Act der Schichtenstörung, nachdem die ältere, aber bevor die jüngere Schichtenreihe entstanden war. Gehört z. B. die oberste, horizontale Schicht dem ältesten tertiären Abschnitt, ihre gefaltete Unterlage (das Liegende) aber der jüngsten Stufe der Kreideformation an, so vollzog sich die Fältelung oder Hebung am Ausgang der Kreidezeit.

In ähnlicher Weise, wenn auch weniger häufig, lässt sich der Zeitpunkt ermitteln, in welchem gewisse Eruptivgesteine emporgedrungen sind. Wir erläutern dies an dem beigegebenen Profil (Fig. 43)[1]. Ein durch das Steinkohlengebirge führender Spalt ist von einem Melaphyrgang durchsetzt. Die bei der Spaltbildung durch Verwerfung höckerig gewordene Oberfläche der carbonischen Schichten *(c)* wurde nach diesem Vorgang von den Meteorwassern geebnet, worauf sich die Gebilde des Rothliegenden *(b)* und des Zechsteins *(a)* hier ablagerten, die bis heute in ihrer ursprünglichen horizontalen Richtung geblieben sind. Somit muss jene Verwerfung, sowie das Emporquellen des Melaphyrs vor Beginn des dyassischen, also am Ende des carbonischen Zeitalters vor sich gegangen sein.

Fig. 43.



a Zechstein; *b* Rothliegendes; *c* carbonische Formation, durchsetzt von einem Melaphyrgang. Quarrington Hill bei Durham.

Nach denselben Grundsätzen bestimmt man ferner auch die Zeit, in welcher sich die Gebirge erhoben haben. Gebirge sind immer der Ausdruck gewaltiger Schichtenstörungen. Begegnen wir nun unmittelbar am Fusse eines Gebirges horizontalen Schichten, so fand die Erhebung vor deren Ablagerung statt oder genauer: sie trat ein nach der Zeit, in welcher sich die jüngsten der aufgerichteten Schichten ablagerten, und vor der Bildung der horizontalen Schichten am Fusse des Gebirges. Da freilich die gebirgerhebenden Kräfte nicht mit einem Male und plötzlich gewaltige Gebirgsmassive geschaffen, sondern durch lange Zeiträume hindurch still und kaum bemerkbar, aber um so anhaltender und durchgreifender gewirkt haben, so wird streng genommen durch die obigen Schlussfolgerungen nur die Zeit bestimmt, in welcher die Gebirgserhebung ihr Ende erreichte; denn alle jene Schichten,

[1]) Hermann Credner, Elemente der Geologie. S. 326.

welche sich während derselben abgelagert hatten, wurden ja im weiteren Verlaufe dieses Processes von ihr ebenfalls mit erfasst. Doch lässt sich in vielen Fällen auch der Beginn des Hebungsactes annähernd festsetzen. So wissen wir, dass der Harz zwischen dem Ende des carbonischen Zeitalters und dem Schlusse der Kreideperiode emporstieg. Es fehlen nämlich dem eigentlichen Harze die obercarbonischen und dyassischen Schichten, welche ihn doch umlagern; das Harzterrain hatte sich also damals bereits aus dem Meere erhoben. Andrerseits reichen die Schichtenstörungen nur bis zum Ende der Kreidezeit.

Ein unentbehrliches Hilfsmittel bei Erörterung derartiger Fragen sind die geologischen Karten. Das Verständniss derselben ist so wichtig, dass wir es uns nicht versagen, einige erläuternde Bemerkungen über dieselben hinzuzufügen.

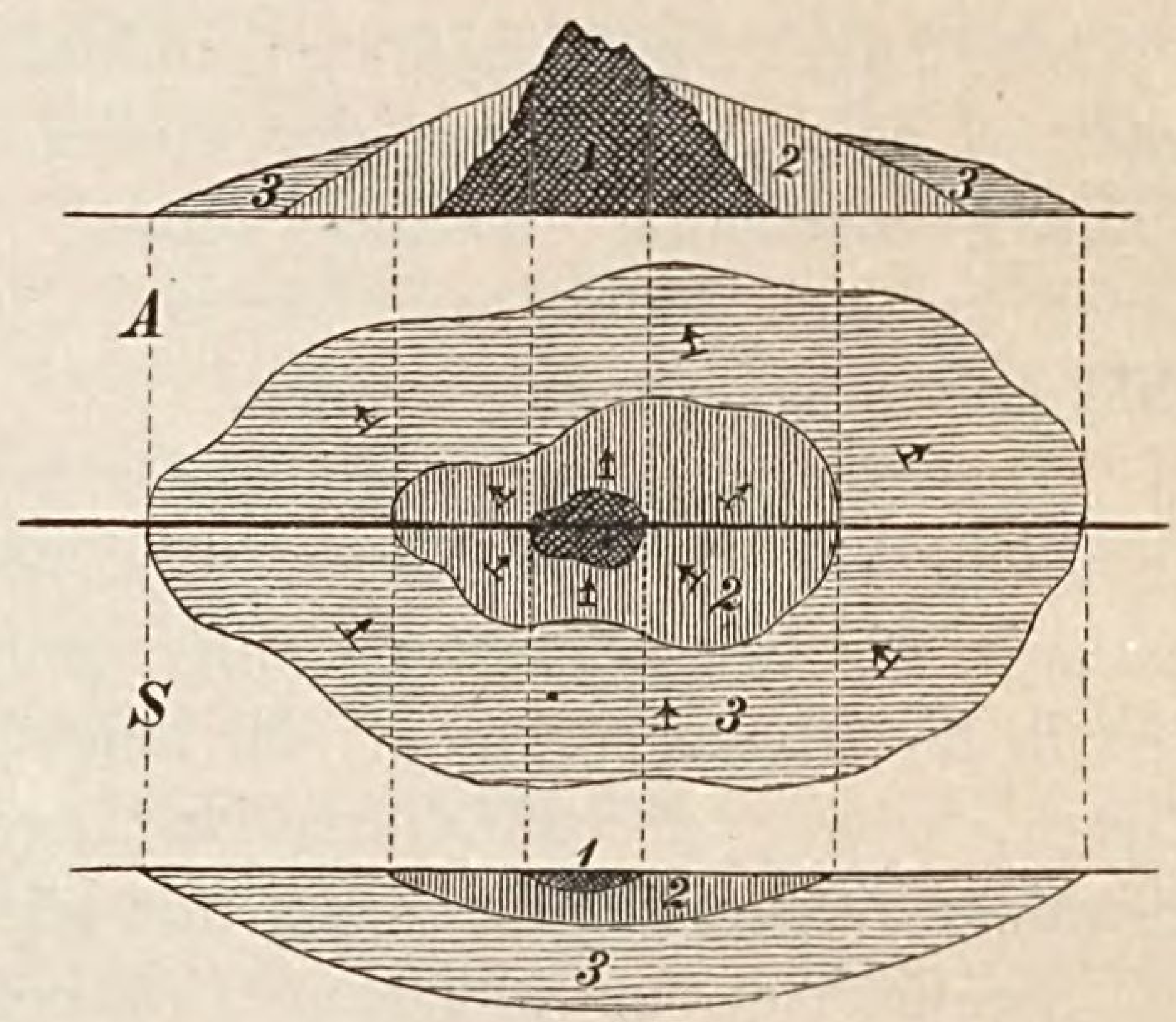
Die geologischen Karten sind stets buntfarbig; jede Farbe bedeutet eine Sedimentablagerung oder ein Eruptivgestein, wobei natürlich die grössere oder geringere Specialisirung der Formationsglieder oder der einzelnen Gesteinsarten von dem Massstab der Karte abhängt. Hinsichtlich der Wahl der Farben herrscht viel Willkür; doch besteht wenigstens insofern eine gewisse Uebereinstimmung, als man in der Regel die ältesten krystallinischen Bildungen durch rothe Töne, die paläozoischen Formationen durch dunkleres Braun, Grau und Violett, die mesozoischen durch Blau und Gelb und die känozoischen durch die lichtesten Farbentöne bezeichnet. Gebiete aus eruptivem Gestein erhalten eine scharlachrothe, schwarze oder dunkelgrüne Farbe.

Im letzteren Falle belehren uns die geologischen Karten nur über den petrographischen Charakter des Gesteins. Führen hingegen die kartographisch dargestellten Gebiete Versteinerungen, so ist die Farbe stets zugleich ein Symbol der Zeit; sie giebt die geologische Epoche an, in welcher sich dieses oder jenes Gestein im Meere ablagerte, und wir werden so über das Alter der einzelnen Ländergebiete unterrichtet. Mit Hilfe einer geologischen Karte erkennen wir z. B. in Skandinavien sofort ein uraltes, zum grösseren Theile noch vorsilurischen Zeiten angehörendes Land, in der gegenüber liegenden jütischen Halbinsel hingegen — geologisch gesprochen — ein ausserordentlich junges Gebiet, da es sich erst am Schlusse der Tertiärzeit aus den Tiefen des Meeres erhob.

Auch lassen sich nicht selten die Ufer vorhistorischer Meere aus geologischen Karten direct ableiten. Fänden wir z. B. auf einer solchen eine und dieselbe Farbe zwischen dem Fusse des Schwarzwaldes und der Vogesen auf der Strecke von Basel bis Bingen, so dürften wir hieraus schliessen, dass einstmals ein Meer dieses ganze Becken überfluthete. Wäre die Mitte dieses Gebietes noch von einer

Farbe erfüllt, welche eine jüngere Ablagerung andeutete, so würde uns dies anzeigen, dass ein Theil der oberrheinischen Tiefebene noch länger vom Meere bedeckt war. Es stellen daher, wie hieraus klar hervorgeht, geologische Karten nicht die wirkliche Ausdehnung einer Formation dar, sondern nur die Ausdehnung derjenigen Schichten, welche an der Erdoberfläche zu Tage treten. Wollten wir ihr ganzes Verbreitungsgebiet ermitteln, so müssten wir uns die auf ihr ruhenden Formationen hinweggenommen denken. Es ist daher in vielen Fällen durchaus nicht einfach, die Räume genau zu begrenzen, über welche sich die Meere in verschiedenen geologischen Zeitaltern erstreckten. Es bedarf hierzu nicht bloss einer guten geologischen Karte, sondern auch der sorglichen geologischen Durchforschung aller derjenigen Gegenden, wo die betreffende Formation nicht an der Oberfläche erscheint.

Fig. 44.



Häufig beobachten wir auf geologischen Karten ringförmige Terrainzonen, welche sich, concentrischen Kreisen zu vergleichen, um einen gemeinsamen Mittelpunkt schaaren. Eine derartige Schichtenordnung gestattet meist eine doppelte Erklärung, je nachdem man sich die Lage der Schichten als eine anticlinale oder synclinale denkt. Im ersten Falle (Fig. 44, *A*) bezeichnet die Kernmasse die ältesten Bildungen; die Schichten, welche dieselben umschliessen, legten sich erst nach ihrer Erhebung mantel- oder gürtelförmig um dieselbe. Bei synclinaler Lagerung der Schichten hingegen (Fig. 44, *S*) ist die Formation in der Mitte die jüngere; sie erscheint als die letzte Ausfüllung eines ursprünglich viel grösseren Wasserbeckens. Zur Klarstellung dieser Verhältnisse dienen entweder geologische Querprofile, wie bei Fig. 44, oder die conventionellen Zeichen für das Fallen und Streichen der Schichten. Die Neigung derselben gegen die horizontale Ebene wird nämlich von dem Bergmann das Fallen der Schichten genannt. Zur Bestimmung der Fallrichtung hat man zweierlei zu messen: den Grad dieser Neigung (mit Hilfe eines Quadranten), sowie die Himmelsrichtung, nach welcher die Schicht fällt (mittelst des Compass). Die horizontale Linie, welche rechtwinklig auf die Falllinie in der Schichten-

fläche gedacht wird, lässt uns das Streichen der Schichten erkennen. Diese Linie belehrt uns also über die Erstreckung der Schichten in horizontaler Richtung und berechnet sich ganz einfach aus der Fallrichtung, von der sie um 90° abweicht. Hieraus folgt, dass eine nach Norden fallende Schicht nach Ost-West streichen, eine nach Nord-Süd streichende aber nach Ost oder West fallen muss, dass ferner horizontale Schichten kein Streichen haben, während bei vertical aufgerichteten das Streichen der Richtung der Schichtenflächen gleich ist. Auf den geologischen Karten wird nun das Fallen und Streichen der Schichten durch ein besonderes Zeichen angedeutet. Ein kurzer Strich giebt die Streichlinie und ein darauf stehender kurzer Pfeil die Fallrichtung an; genauer verfährt man, wenn man noch die Grösse des Fallens in Graden daneben schreibt, z. B. ⊥ 35°.

Fehlen derartige Angaben auf einer geologischen Karte, so lässt sich in den meisten Fällen mit Hilfe einer Terrainkarte die ungefähre Lage der Schichten ermitteln. Eine Hebung im Centrum setzt ja eine Aufrichtung der umliegenden Schichten, also eine anticlinale Anordnung derselben voraus. Auf wenig geneigtem oder nach Innen zu sich senkendem Terrain darf hingegen meist eine synclinale Lagerung erwartet werden.

Der Gegensatz von anticlinaler und synclinaler Schichtenlagerung innerhalb ringförmiger Zonen wird am besten durch zwei Beispiele illustrirt, die bei Betrachtung einer geologischen Karte Frankreich's sofort in die Augen springen. Es handelt sich hier um zwei ringförmige Zonen, welche der Juraformation angehören. Der südliche, ziemlich geschlossene Juraring umgürtet, mit seinen Schichten allseitig abfallend, das granitische Centralplateau Frankreich's; dem entsprechend bildet der Lias eine innere, der Dogger und weisse Jura eine äussere Zone. Der nördliche Juraring hingegen, der nach dem Canal hin geöffnet ist und wahrscheinlich mit dem englischen Jura in Verbindung stand, zeigt das umgekehrte Verhältniss: alle Schichten fallen nach Innen ein und stellen so eine flache Mulde dar. Die älteren Glieder sind die äussere Umwallung; die jüngeren Schichten befinden sich im Innern, und das Centrum ist von Kreide- und Tertiärbildungen überdeckt. Hier erlitten also die centralen Theile eine Senkung, worauf sich auf ihnen auch jüngere Formationen ablagern konnten. So deuten die geologischen Karten auch ohne nähere Bezeichnung des Streichens und Fallens der Schichten doch in zahlreichen Fällen deren Lage an.

Wie lehrreich geologische Karten sind, wollen wir noch durch einige Beispiele erläutern.

Flüsse und Ströme verhalten sich niemals gleichgiltig gegen das Gestein, über welches sie ihren Weg nehmen: entweder zernagen sie

durch längere Zeiträume hindurch den Boden, auf welchem sie sich bewegen, und legen so vielleicht eine oder mehrere Formationsstufen bloss, oder sie zernagen das Terrain zwar eine Zeit lang, vermögen aber in Folge der Verminderung des Gefälles den Schutt, welchen sie mit sich führen, nicht weiter zu tragen und füllen deshalb das ausgefurchte Terrain wieder aus. Eine genaue geologische Karte von Süddeutschland gewährt uns Beispiele zu beiden Erscheinungen. So ist der 160 Meter mächtige Lias (schwarze Jura) in Schwaben am Nordfusse der Rauhen Alp vielfach von den Flüssen so tief durchschnitten, dass die Keuperschichten an der Basis zu Tage treten. Die Liaslager sind hier also in zahlreiche Fetzen zerrissen worden. Auf der bayerischen Hochebene hingegen haben sich zwar die Flüsse ebenfalls in die miocäne Decke ein Bette eingewühlt, doch die geschaffenen Rinnen hierauf mit Diluvium ausgefüllt. Indem uns die geologischen Karten schmale Bänder theils relativ älteren, theils jüngeren Terrains an den Flussufern zeigen, geben sie uns ein Bild von der zerstörenden, resp. aufbauenden Thätigkeit der Flüsse in der Vorzeit.

Bemerkenswerth ist ferner auch die Thatsache, dass Flüsse und Ströme oft an den Grenzen der Formationen hinfliessen, d. h. an den Rändern früherer Meere. So begleitet die Donau unterhalb Regensburg auf eine weite Strecke die Küsten des einstigen Jurameeres. Dieses helveto-germanische Meer, wie man es oft bezeichnet, hatte, nach seinen Ablagerungen zu schliessen, noch zur Miocänzeit eine ansehnliche Ausdehnung. Als aber gleichzeitig mit dem Aufsteigen der Alpen der alte Meeresboden über den Seespiegel emporgehoben wurde und zwar offenbar durch Kräfte, die im Süden stärker wirkten als im Norden, wurde das Rinnsal, welches die Meteorwasser dieses Gebietes abführen sollte, ganz nach Norden gedrängt. In ähnlicher Weise haben die jüngeren, kräftiger aufstrebenden Gebirge mehrfach die Flüsse von sich weg nach den entgegengesetzten Ufern älterer Meere geschoben.

Selbst für das praktische Leben hat die Kenntniss von der Verbreitung der Formationen, wie wir sie aus der Betrachtung geologischer Karten erlangen, eine hohe Bedeutung. Eine geologische Karte von Italien lehrt uns beispielsweise Folgendes: In Italien tritt fast nirgends die Steinkohlenformation zu Tage; vielmehr begegnen wir dort vorwiegend Bildungen aus der Kreide- und Tertiärzeit. Italien war demnach im carbonischen Zeitalter wahrscheinlich völlig vom Meere bedeckt. Daher entbehrt dieses Land der in industrieller Beziehung so hochwichtigen Steinkohlen gänzlich; es ist nur im Besitze von (tertiären) Braunkohlen. Die reichsten und manigfaltigsten Erzlager, insbesondere auch die Fundstätten von Gold, Silber und Platin, gehören den archäischen

Formationen an (wir sehen hier davon ab, dass Gold und Platin auch in Wäschen aus dem Seifengebirge gewonnen werden), und wenn auch hie und da Erzgänge noch in höhere (vornehmlich paläozoische) Schichten empordringen, so verdienen doch eigentlich nur die archäischen Formationen den Namen „Erzgebirge". Hingegen birgt die Trias die erstaunlichsten Mengen von Steinsalz, welchem Umstande sie ihren früheren Namen „Salzgebirge" verdankt. So gewähren geologische Karten noch in manigfacher Hinsicht werthvolle Fingerzeige.

B. Die geologischen Formationen.

1. Die archäische Formationsgruppe.

Ueberall, wo wir tief genug in das Erdinnere hinabzusteigen vermögen, treffen wir auf mächtige Lager krystallinischer Silicatgesteine. Sie bilden, so weit wir es beurtheilen können, die Grundlage, auf welcher die ganze Reihe der Sedimentärformationen ruht, weshalb man sie auch das Urgebirge nennt. Diese Gruppe breitet sich in bewundernswürdiger Gleichförmigkeit wohl über die ganze Erde aus; nur ist sie meist von den jüngeren Formationen überlagert und daher unseren Blicken entzogen. Bis jetzt ist es noch nicht gelungen, an irgend einer Stelle das untere Ende (das Liegende) dieses an manchen Stellen über 30 000 Meter (4 geogr. Meilen) mächtigen Schichtensystems zu erreichen.

Das Urgebirge ist in seinem tieferen Theile vorzugsweise aus Gneissen, Hornblendeschiefern, Quarziten und krystallinischen Kalksteinen zusammengesetzt, in der oberen Hälfte namentlich aus Glimmer-, Chlorit-, Talk- und Thonschiefern. Nach diesen petrographischen Unterschieden zerfällt es naturgemäss in die laurentische oder Urgneissformation und in die huronische oder krystallinische Schieferformation. Ausgezeichnet sind beide durch ihren Reichthum an Edelsteinen und Erzlagerstätten.

Werden wir nach der Entstehung des Urgebirges befragt, so müssen wir die alte, auch heute noch nicht erledigte Streitfrage berühren, welche sich kurz zusammenfassen lässt in die Worte: Ist das Urgebirge mit seinen mächtigen Lagern aus Gneiss und Glimmerschiefer die anfängliche Erstarrungskruste des gluthflüssigen Erdballs, oder ist es das Ablagerungsproduct des ältesten Meeres? Ist es also aus gluthflüssiger Masse auskrystallisirt worden, oder ging es aus einem wässerigen Detritus hervor? Die Entscheidung über diese Frage ist deshalb so schwer, weil jene Gneissbildungen weder mit den Laven

unserer Vulcane, noch mit den Niederschlägen unserer Seen und Meere irgend welche Aehnlichkeit haben. Die allgemeine Verbreitung des Gneisses und seine Mächtigkeit, sowie der Mangel an Versteinerungen scheinen darauf hinzudeuten, dass die Gneisslager der oberflächlichen Erstarrung des gluthflüssigen Erdballes ihren Ursprung verdanken. Doch sprechen für die sedimentäre Entstehungsweise viel gewichtigere Gründe: insbesondere das vorzügliche Parallelgefüge, in welchem uns eine echte Schichtung entgegen tritt, sowie die zahllosen Wechsellagerungen mit den verschiedenartigsten Gesteinen, die ebenfalls eine wirkliche Schichtung nicht verkennen lassen. Es ist eine alte Erfahrung, dass sich beim Erkalten einer feurigflüssigen Masse die schwer schmelzbaren Substanzen zuerst ausscheiden, die leicht schmelzbaren hingegen zuletzt. Demgemäss dürfte man erwarten, dass unter den Bestandtheilen des Gneisses zuerst der Quarz, hierauf der Glimmer und zuletzt der Feldspath krystallisirten. Der petrographische Charakter des Gneisses beweist jedoch deutlich, dass der leicht schmelzbare Feldspath den Krystallisationsprocess einleitete, da ihn der Quarz in unregelmässigen, verzerrten Massen umgiebt. Die meisten Geologen stimmen der Ansicht zu, dass der heutige Gesteinscharakter des Gneisses nicht der ursprüngliche war, sondern dass derselbe, sei es durch die aus dem gluthflüssigen Erdinnern aufsteigende Wärme, sei es durch die chemische Wirkung der von oben her eindringenden Atmosphärilien, eine Umwandlung (Metamorphose) erlitten habe, welche dem sedimentären, ehemals klastischen Material seine heutige krystallinische Structur verlieh. Ueberdies ist die Annahme einer Metamorphose des Urgebirges nicht unbedingt nothwendig. So lässt sich nach Hermann Credner[1]) die Ursprünglichkeit der ältesten Sedimentformationen in folgender Weise rechtfertigen: Als einst der Erstarrungsprocess auf der gluthflüssigen Erdoberfläche begann, war der sämmtliche, heute in Kohlen- und Carbonatgesteinen, sowie in organischen Wesen gefesselte Kohlenstoff als Kohlensäure, alles Wasser der heutigen Erdoberfläche und Erdkruste in Gas- und Dampfform in der Atmosphäre unseres Planeten aufgelöst. Die Condensation der Wasserdämpfe zu Wasser war unter dem Druck einer solchen Atmosphäre bereits unter viel höheren Graden möglich, und so bedeckte sich die Erdoberfläche mit einem Meere von überhitztem Wasser, welches in hohem Grade zersetzend und lösend auf die mineralischen Bestandtheile der Erstarrungskruste wirkte. In dem Masse, in welchem das Wasser erkaltete, verlor es seine Solutionsfähigkeit; die bis dahin in Lösung befindlichen Substanzen schieden sich nach und nach aus und lieferten anfangs das krystallinische

[1]) Elemente der Geologie. S. 310.

Material der Gneiss- und Glimmerschiefer, später, je mehr die chemische Bildungsweise durch die mechanische verdrängt wurde, das Material der Urthonschiefer und dann der gewöhnlichen Thonschiefer. Von Wichtigkeit ist, dass der Krystallisationspunkt der damals aufgelösten Mineralsubstanzen von dem relativen Verhältnisse der gleichzeitig gelösten oder sich in Lösung haltenden Substanzen abhing und demnach beständig wechselte. Dieses inconstante Verhältniss der gelösten Bestandtheile in dem sich abkühlenden Urmeer hatte zugleich einen Wechsel der Gesteinsablagerungen zur Folge; auch war hierdurch die Möglichkeit gegeben, dass Mineralkörper, die, jeder für sich in reinem Wasser aufgelöst, ganz verschiedene Krystallisationspunkte haben, sich aus einer Mischung ihrer Lösungen gleichzeitig oder in umgekehrter Reihenfolge ausscheiden konnten.

Nur geringe Spuren organischen Lebens sind uns in dieser Formationsgruppe aufbewahrt, und diese sind fast ganz auf die obersten Horizonte beschränkt. Ob jedoch die unteren Schichten wirklich azoisch sind, wie man sie früher stets bezeichnete, darf jetzt bezweifelt werden. Im Jahre 1864 hat der canadische Geolog Logan in laurentischen Kalkschichten eigenthümliche, knollige, von Serpentin durchdrungene Massen entdeckt, welchen er organischen Ursprung zuschrieb. v. Hochstetter fand ähnliche Ueberreste 1865 in dem krystallinischen Kalke des Böhmerwaldes, Gümbel gleichzeitig im Urgebirge des Bayerwaldes; ebenso kommen sie in den laurentischen Schichten Irland's, Skandinavien's, der Pyrenäen und anderer Gebiete vor. Vielfache Untersuchungen führten zu dem Resultate, dass jene Serpentinballen Reste einer besonders grossen, Eozoon genannten Foraminifere seien. Doch wird neuerdings der organische Ursprung des Eozoon auf Grund sorgfältiger Untersuchungen von vielen Seiten durchaus bestritten [1]). Auf die Existenz von Pflanzen im laurentischen Zeitalter deutet zwar das Vorkommen von Asphalt und Anthracit innerhalb dieser Formation hin; directe Zeugnisse hierfür fehlen jedoch.

Auch in der huronischen Schieferformation begegnen wir nur spärlichen Resten organischen Lebens; mit Sicherheit sind dieselben bisher nur in den obersten, meist aus Thonschiefern bestehenden Schichten nachgewiesen worden: so die Reste von Fucoiden (Seetange), ferner Anneliden-Spuren, Lingula-Abdrücke und Crinoideen-Stielglieder.

Die Verbreitung der laurentischen Gneissformation ist eine ausserordentlich ausgedehnte. Wahrscheinlich umspannt sie, wenn auch vielfach von anderen Formationen überlagert, den ganzen Erdkreis und

[1]) Vgl. Karl Möbius, Der Bau des Eozoon Canadense nach eigenen Untersuchungen verglichen mit dem Bau der Foraminiferen. Cassel 1878.

tritt daher wohl fast in jedem grösseren Ländergebiete zu Tage. In Deutschland gehört namentlich ein grosser Theil des Böhmer und Bayerischen Waldes, des Fichtel-, Erz- und Riesengebirges der laurentischen Gneissformation an. Sie bildet ferner die Centralalpen und entfaltet sich am grossartigsten in Skandinavien und Finnland.

Die huronische Schieferformation erstreckt sich zwar nicht über so weite Räume wie die laurentische (offenbar hatten sich in diesem Zeitalter schon einzelne Länder über den Meeresspiegel erhoben); doch nimmt auch sie grosse Flächen ein. In Europa werden durch huronische Schiefer zusammengesetzt die Tiroler, Salzburger, Oberkärntner und Schweizer Alpen, die Ostabhänge des Böhmer und Bayerischen Waldes, der westliche Flügel des Erzgebirges, Theile der Sudeten, sowie von Skandinavien und Schottland.

2. Die paläozoische Formationsgruppe.

Die paläozoische Formationsgruppe erreicht eine Mächtigkeit von mehr als 15 000 Metern und besteht vorzugsweise aus Grauwacken, dunklen Thonschiefern, Sandsteinen, Kalksteinen und Conglomeraten. Sie zerfällt in vier selbstständige Formationen:

1) die silurische Formation } Uebergangsgebirge,
2) die devonische Formation }
3) die carbonische oder Steinkohlenformation,
4) die Dyas oder permische Formation.

Die silurische Formation wurde dem kleinen keltischen Volksstamm der Silurer zu Ehren so benannt, welcher zur Römerzeit diejenigen Theile des heutigen Wales bewohnte, wo Murchison diese Formation besonders vollkommen entwickelt fand und sie zuerst genauer untersuchte. Ihre Mächtigkeit beträgt an manchen Stellen mehr als 6000 Meter. Sie wird vorzugsweise aus Sandsteinen, Thonschiefern und Grauwacken, seltener aus Kalksteinen gebildet und enthält die reichsten Goldlagerstätten der Erde in der Form von goldführenden Quarzgängen (Wales, Ural, Australien), sowie ansehnliche Lager von Eisen-, Kupfer-, Blei- und Zinkerzen.

Die Versteinerungen der Silurformation, welche überall auf Erden eine bemerkenswerthe Gleichförmigkeit zeigen, sind fast nur organische Reste von einstigen Meeresbewohnern. Aus dem Mangel an Landpflanzen und Landthieren lässt sich schliessen, dass auch in der silurischen Zeit keine grösseren Ländermassen aus den Tiefen des Oceans emporgestiegen waren. Von Pflanzen aus dieser Periode sind, wenn wir von den nur an wenigen Stellen vorkommenden Landpflanzen (Lepidodendren) absehen, nur Seetange bekannt. Hingegen ist das Thierleben bereits relativ reich entfaltet. In grosser Zahl und Form-

verschiedenheit begegnen wir den Trilobiten (Dreilappthiere), einer eigenthümlichen, jetzt ausgestorbenen Familie krebsartiger Thiere, deren Rückenschild eine deutliche Gliederung in drei Abschnitte wahrnehmen lässt. Man hat in dieser Formation bereits 124 Genera derselben mit über 1600 Arten festgestellt. Auch ist der Individuenreichthum derselben ein überraschend grosser. Unter den manigfachen Abtheilungen der Mollusken erreichen namentlich die Kopffüssler (Cephalopoden) und die Armfüssler (Brachiopoden) den Höhepunkt ihrer Entwicklung; beide sind durch viele Geschlechter vertreten. Von den Cephalopoden sind hervorzuheben die Gattungen Orthoceras (Geradhorn), Cyrtoceras (Krummhorn), Gomphoceras (Keulhorn), Phragmoceras (Bogenhorn), Lituites (Krummstab), von den Brachiopoden die Geschlechter Lingula, Rhynchonella, Obolus, Strophomena, Orthis, Atrypa, Spirifer, Pentamerus. Auch ihre Individuenzahl ist eine enorme. Ein treffliches Leitfossil ist ferner Halysites, die Kettenkoralle; sie bildet mächtige Riffe und war bis nach der Insel Gottland und den russischen Ostseeprovinzen verbreitet. Ebenso zählen die pflanzenähnlichen Crinoideen oder Seelilien, welche ihre armtragenden Kronen auf langen, gegliederten Stielen wiegten oder durch ihre fein getäfelte Schale von kugelförmiger Gestalt den Boden schmückten, zu den charakteristischen Erscheinungen der Silurformation. Die silurischen Schiefer sind ferner bedeckt mit zahlreichen Graptolithen (Schriftsteine), deren plattgedrückte lineare Gestalten an Gras- oder Strohhalme erinnern; bald sind sie geradlinig, bald spiral- oder schraubenförmig aufgerollt. Thiere mit vollkommen verknöcherter Wirbelsäule, also Säugethiere, Vögel, Reptilien, Amphibien fehlen in den unteren Horizonten dieser Formation vollständig; doch fällt das Auftreten der Fische auf dem Schauplatz der Natur in das Ende dieser Periode, was durch Auffindung von Resten haiartiger Knorpelfische (Pteraspis und Onchus) sicher nachgewiesen worden ist.

Die Silurformation nimmt namentlich weite Räume vom nördlichen Russland, sowie von Canada und den Vereinigten Staaten ein. Kleinere Silurzonen gehören in Europa dem südlichen Schweden und Norwegen, Wales und Irland, dem mittleren Deutschland, Böhmen und der Bretagne an. Auch tritt sie in allen übrigen Welttheilen auf, selbst in den entlegensten Gebieten der Erde, so in China, im Himalaya, am Cap der Guten Hoffnung, in Bolivia, Australien und Tasmanien.

Die devonische Formation besitzt ebenso wie die silurische einen ganz willkürlich gewählten Namen; sie wird so bezeichnet nach der englischen Grafschaft Devonshire, obwohl sie anderwärts, z. B. in der Eifel und in Belgien in vollständigerer Weise entwickelt ist. Ihre Mächtigkeit überschreitet hie und da die Grösse von 3000 Metern.

Auch sie besteht, wie die silurische Formation, meist aus thonigen und sandigen, sowie kalkigen Gesteinen, zwischen welche vielfach oolithische, dichte oder kalkige Rotheisenerze, sowie Schwefelmetalle flötzartig (letztere auch linsenförmig) eingelagert sind.

Ragten in der silurischen Periode nur wenige einsame Felsinseln aus dem weiten Weltmeere empor, so gewannen während der devonischen Periode die Continente durch stete Anschwemmungen von Seiten des Meeres wie durch Hebung beständig an Umfang. Daher blieb auch das Pflanzenleben nicht bloss auf die Entwicklung einiger Seegewächse, speciell der Fucoiden beschränkt, sondern es erwachte auch auf den Continenten, welche sich mit Coniferen, Farnen, Sigillarien und Lepidodendren bedeckten. Immerhin ist deren Entwicklung noch eine relativ dürftige, namentlich wenn wir sie mit der üppigen Entfaltung der Gewächse im carbonischen Zeitalter vergleichen.

Hinsichtlich des Thierlebens giebt sich das devonische Zeitalter als eine Tochter des silurischen sofort zu erkennen. Es herrschen im wesentlichen noch dieselben Klassen, Ordnungen und Familien; nur die Arten sind mittlerweile andere geworden. Manche ältere Gattungen sind erloschen und durch ähnliche ersetzt worden oder die gebliebenen sind nicht mehr im Besitze so vieler Arten wie in der silurischen Zeit. Im allgemeinen scheint der Formenreichthum in der devonischen Periode eine Abschwächung erfahren zu haben. Der jugendlichen Blüthe der Thierwelt in der silurischen Vorzeit ist ein greisenhafter Rückgang gefolgt. Zwar kommen auch neue Thierformen zu den älteren hinzu; doch ist die Abnahme derselben immerhin der charakteristische Grundzug. So bereitet das Verschwinden des grössten Theiles der Trilobitengeschlechter den nahen Untergang der ganzen Familie vor. Unter den Mollusken sind noch immer die Cephalopoden und Brachiopoden den anderen Geschlechtern überlegen, wenn auch nicht mehr in so auffallender Weise wie im Silur. Die Cephalopoden erhalten in den Geschlechtern Clymenia (nach der Nymphe Clymene) und Goniatites (das letztere ist der Vorläufer der in den mesozoischen Formationen so wichtigen Ammoniten) neue Vertreter. Von den Brachiopoden weist die Gattung Spirifer zahlreiche charakteristische Formen auf, insbesondere langflügelige, in die Breite gezogene Arten, wie Spirifer speciosus u. a. Auch die Geschlechter Orthis und Rhynchonella zeigen mehrere dem Devon ausschliesslich angehörende Arten; das Geschlecht Stringocephalus ist auf das Devon beschränkt. Unter den vielen Korallen ist Calceola sandalina, eine Deckelkoralle, ein ausgezeichnetes Leitfossil. Die Echinodermen (Stachelhäuter) werden fast ausschliesslich durch Crinoideen repräsentirt und zwar durch solche, welche mit langen Armen versehen sind. Die Graptolithen sind gänz-

lich ausgestorben. Von den Wirbelthieren begegnen wir auch im Devon nur Fischen, diesen aber in grosser Arten- und Individuenzahl, weshalb man das devonische Zeitalter geradezu als das Zeitalter der Fische bezeichnet. Doch fehlen die echten Knochenfische (Teleostei) mit festen Wirbeln, welche jetzt etwa neun Zehntel aller lebenden Fische ausmachen, noch gänzlich. Die von den Thieren abgesonderte Kalksubstanz wurde nicht zur Bildung des inneren Skelets, sondern zur Herstellung einer panzerartigen Hautbedeckung verwandt. Diese besteht entweder aus mit Schmelz überzogenen rhombischen oder runden Knochenschuppen oder aus einem vollkommenen Panzer von Knochentafeln. Sie gehören also alle in die Ordnung der Schmelzschupper oder Ganoiden. Zu den ersteren zählen Osteolepis, Holoptychius, zu den letzteren Pterichthys; beide Formen werden vermittelt durch die mit mächtigen Kopfschilden versehenen Cephalaspis und Makropetalichthys. Die Schwanzflossen dieser Fische sind übrigens durchweg ungleichlappig (heterocercal). Das Vorkommen von Flossenstacheln in devonischen Ablagerungen deutet darauf hin, dass neben den Ganoiden auch haiartige Knorpelfische, deren Erscheinen im oberen Silur bereits erwähnt wurde, die devonischen Meere bevölkerten. Wie die Landthiere überhaupt, so vermissen wir auch in dieser Formation alle höheren Classen des Thierreichs.

Die Devonformation erstreckt sich über grosse Gebiete Europa's und Nordamerika's. Ein breiter devonischer Streifen umsäumt die russische Silurzone im Süden von Kurland bis zum Eismeere. Weiter westwärts begegnen wir isolirten Partien der Devonbildung in Polen, Schlesien, Thüringen, Oberfranken und dem Harze; das grösste deutsche Devongebiet umfasst das ganze rheinische Schiefergebirge östlich und westlich des Rheins und reicht bis nach Belgien. In England ist das Devon auf die beiden Halbinseln Cornwallis und Wales beschränkt und wird in Schottland durch den Old-red-sandstone ersetzt. In Nordamerika breitet es sich namentlich im Osten über weite Räume aus und begleitet insbesondere bandartig die silurischen Gesteine der Alleghanies. Im allgemeinen war das devonische Meer von geringerer Ausdehnung als das silurische; darum finden sich neben rein marinen Schichten und Strandbildungen unverkennbare Süsswasserbildungen, z. B. der eine eigenthümliche Fischfauna einschliessende Old-red-sandstone.

Die carbonische oder Steinkohlenformation, in manchen Gebieten über 7000 Meter mächtig, wird aus Schichtenreihen zusammengesetzt, deren Material Kalksteine, Grauwacken, Sandsteine, Conglomerate, Thonschiefer, Schieferthone und Steinkohlen bilden. Mit den Kohlenflötzen vergesellschaftet sind sehr häufig ganze Lager von Kohleneisenstein. Die gleichzeitige Ausbeute von Kohlen und Eisenerz

ist in vielen Gegenden (z. B. in dem Becken von Saarbrücken, in Südwales, Staffordshire, Pennsylvanien) die Ursache eines ausserordentlichen Aufschwunges der Eisenindustrie geworden.

Das Pflanzenleben des carbonischen Zeitalters ist im Gegensatz zu dem des devonischen ein ungemein üppiges; wir bewundern neben dem massenhaften Auftreten der Individuen zugleich die riesenhaften Dimensionen der damaligen Gewächse. Trotz alledem ist jedoch die carbonische Flora im Vergleich zu der Flora der Jetztzeit ausserordentlich formenarm. Es fehlen ihr nämlich alle angiospermen Dikotyledonen; Cycadeen, Coniferen und Palmen sind verhältnissmässig selten; somit bestand die carbonische Pflanzenwelt fast nur aus Kryptogamen. Diese ganze Flora trägt den Charakter einer tropischen Sumpf- und Morastvegetation an sich; ihr Bereich war demnach das flache Küstenland der carbonischen Continente. Die gänzliche Abwesenheit des Seetang oder sonstiger mariner Pflanzen beweist zur Genüge, dass wir die Steinkohlen nicht als Gebilde des Meeres, etwa als Producte untergegangener Tangwälder, betrachten dürfen, was auch durch die eingebetteten Land- und Süsswasserthiere bestätigt wird.

Unter den damaligen Pflanzen erinnern die Farne am meisten an die Flora der Gegenwart. Sie sind um so schwerer von den jetzigen Farnen zu unterscheiden, als gerade das beste systematische Merkmal, die Anordnung der Früchte auf der Unterseite der Blätter, an den fossilen Farnen nur sehr selten wahrgenommen werden kann. Doch sind die Abdrücke von Wedeln und Blättchen häufig vorzüglich erhalten. Die Zahl der europäischen Farnarten betrug in der carbonischen Zeit über 250, während unser Erdtheil jetzt nur gegen 60 besitzt. Nach ihrer Nervatur hat man jene fossilen Farne in zahlreiche Geschlechter eingetheilt, von denen in der carbonischen Formation am meisten verbreitet sind: Sphenopteris (Keilwedel), Neuropteris (Nervenwedel), Odontopteris (Zahnwedel), Pecopteris (Kammwedel), Cyclopteris (Kreiswedel). Da sie zum grossen Theil baumartige Gewächse mit 2 bis 3 Meter langen Wedeln waren und in grossen Massen auftraten, so trugen sie jedenfalls nicht wenig bei, der carbonischen Landschaft einen eigenartigen Charakter zu verleihen; doch sind sie als Kohlen bildendes Material wegen ihres geringen Holzreichthums nirgends von Bedeutung. Bestehen auch einzelne Kohlenflötze, so bei Zwickau, aus Farnstrünken (Caulopteris), so sind doch im allgemeinen nicht sie, sondern Calamiten, Sigillarien und Lepidodendren als die eigentlichen Kohlenbildner zu betrachten.

Die Calamiten näherten sich hinsichtlich ihrer Gestalt am meisten den Schafthalmen oder Katzenschwänzen (Equisetum). Ihre Schäfte waren längsgefurcht und quergegliedert; statt der Blattscheiden be-

sassen sie an den Absätzen wirtelförmig gestellte Zweige, welche absatzweise wieder Kränze kleiner Blättchen trugen. Sie erlangten eine Höhe von 10 bis 13 Metern. Nach der Form der kleinen wirtelständigen Blätter unterscheidet man Asterophylliten mit schlanken spitzen Blättern, Sphenophyllen mit umgekehrt keilförmigen und Annularien mit stumpfen, an der Basis verwachsenen Blättern.

Noch reicheres Material für die Kohlenflötze lieferten die Siegelbäume oder Sigillarien und die Schuppenbäume oder Lepidodendren. Beide hatten gegen 20, ja selbst 30 Meter hohe, ursprünglich cylindrische Stämme; doch sind diese durch die Schwere der auf ihnen lastenden Lager meist bretartig zusammengepresst worden. Die Stämme der Sigillarien ragten entweder als einfache oder schwach verzweigte Schäfte, gewaltigen Besen vergleichbar, in die Luft; denn sie waren mit schlanken linearen Blättern besetzt. Diese hinterliessen, wenn sie abfielen, grosse, reihenweise geordnete Blattnarben. Da diese für jene Stämme ausserordentlich charakteristischen Blattnarben Siegelabdrücken ähnlich sind, so nannte man diese Bäume Sigillarien. Ihre zahlreichen, vom Stamm nach allen Richtungen hin horizontal sich ausbreitenden Wurzeln hielt man früher für eine besondere Pflanzengattung und bezeichnete sie wegen zahlreicher runder Narben auf der Oberfläche als Stigmarien. Ihre Zugehörigkeit zu den Sigillarien ist jetzt längst erwiesen. Die Lepidodendren waren die Riesen unter den carbonischen Pflanzengestalten; denn sie erreichten, nach den vorhandenen Fragmenten zu schliessen, nicht selten einen Umfang von 4 und eine Höhe von mehr als 30 Metern. Auch ihre Stämme waren oberflächlich mit erhabenen rhombischen oder elliptischen Blattnarben bedeckt, welche sich, Schuppen gleich, spiralförmig um den ganzen Stamm zogen. Die zahlreichen Zweige waren ringsum mit langen linearen, den Tannennadeln ähnlichen Blättern versehen und trugen an ihrem Ende grosse kegelförmige Fruchtzapfen. — Neben den Kryptogamen erscheinen die anderen Gewächse des carbonischen Zeitalters von untergeordneter Bedeutung. Es kamen noch vor: einige Nadelhölzer und zwar Gattungen, welche den heutigen Araucarien verwandt sind, mehrere Arten von Zapfenpalmen (Cycadeen), sowie von echten Palmen, die sich jedoch nicht mit Sicherheit bestimmen lassen. Unzweifelhaft besass der carbonische Urwald die traurigste Monotonie, welche wir uns denken können. Er entbehrte völlig des manigfaltigen Laubschmuckes, sowie des Blüthenreichthums unserer tropischen Wälder. Wohin auch das Auge sah, erblickte es nichts als mit dürftigem Blattwerk besetzte Calamiten, säulenförmige Schäfte von Sigillarien, mit formlosen Zweigen und borstigen Blättern ausgestattete Schuppenbäume; mattgrüne Farne und steife Schafthalme überwucherten, Gras und Blumen vertretend,

den Boden. Nirgends ertönte der Laut eines Thieres — es gab ja weder Säugethiere noch Vögel; nur schleichende Amphibien, stumme Fische und andere niedere Thiere bevölkerten die sumpfigen, waldreichen Niederungen und ihre Wasserbecken. Fürwahr, ein so eintöniges und ödes Waldgebiet, wie es gegenwärtig in keinem Theile der Erde existirt!

Viele Unsicherheit herrschte früher über die Frage, ob die carbonischen Wälder an Ort und Stelle in Kohle verwandelt wurden, oder ob die Pflanzen, welche die Kohlenlager bilden, erst durch mächtige Fluthen herbeigeführt wurden. O. Heer[1]) hält es recht wohl für möglich, dass Kohlenflötze von beschränkter Ausdehnung durch herbeigeschwemmtes Treibholz erzeugt worden sind, und weist dabei auf das Mississippidelta im Golf von Mexico hin, wo sich zeitweise so grosse Massen von Baumstämmen anhäufen, dass sie in einer Mächtigkeit von einigen Klaftern eine Fläche von mehreren Quadratmeilen bedecken. Die Lignitlager von Bovey Tracey in Devonshire verdanken nach Heer's Untersuchungen unzweifelhaft einem ähnlichen Vorgange ihre Entstehung; warum sollten nicht auch in der Steinkohlenzeit solche Treibholzansammlungen stattgefunden haben? So mag vielleicht das Material zu den mächtigen, aber über ein relativ kleines Gebiet sich ausbreitenden Flötzen von St. Etienne durch mächtige Fluthen herbeigetragen worden sein; doch ist für die meisten Fälle dieser Erklärungsversuch zu verwerfen. Er ist namentlich überall da unstatthaft, wo Kohlenflötze ein Areal von mehreren hundert Quadratmeilen einnehmen, wie in Nordmerika. Nach Unger's Berechnung setzt ein 1 Meter hohes Kohlenflötz eine 8,76 Meter hohe Holzschicht voraus; demnach würde einem Kohlenflötze von 10 Meter Mächtigkeit eine 87,6 Meter hohe Holzschicht entsprechen, also ein eigentlicher Berg von Holz. Erstrecken sich derartige Kohlenflötze über grosse Ländergebiete, so lässt sich unmöglich die massenhafte Aufspeicherung fossiler Stämme aus einer Zusammenschwemmung ableiten. Wären übrigens die Kohlenlager durch Fluthen zusammengetrieben, so müsste viel Gerölle, Schutt und Sand in dieselben mit eingebettet sein, wenigstens viel mehr, als dies jetzt der Fall ist. Es ist demnach wahrscheinlich, dass grössere Steinkohlengebiete nur an solchen Stellen entstanden sind, wo das Material wuchs, aus dem sie gebildet sind. Dies wird auch durch die Thatsache bestätigt, dass die Stigmarien als die Wurzeln meist in dem unteren Theile der Flötze, hingegen Blätter, Zweige und Früchte, also die Kronentheile der Pflanzen, fast immer in dem oberen Theile der Flötze in reicherer Menge auftreten.

[1]) Die Urwelt der Schweiz. Zürich 1865. S. 20 f.

Die Schichten der Steinkohlenformation sind häufig muldenförmig gebogen, weshalb man immer von Kohlenbecken oder Kohlenbassins redet. Die einzelnen Flötze sind von sehr verschiedenartiger Mächtigkeit; dieselbe schwankt zwischen wenigen Centimetern und ungefähr 10 Metern. Die Bauwürdigkeit eines Flötzes hängt von der Tiefe ab, in welcher es liegt; je grösser dieselbe ist, desto weniger abbauwürdig ist es unter sonst gleichen Verhältnissen. Befindet sich ein Flötz nicht in allzu grosser Tiefe, so kann es noch mit Nutzen bearbeitet werden, falls es wenigstens einen Meter mächtig ist. Schwache Flötze können abbauwürdig werden, wenn sie dicht über einander lagern oder wenn sie in einer kohlenarmen Gegend auftreten. An sich abbauwürdige Flötze lassen sich wiederum mit Nutzen nicht ausbeuten, wenn die Bewältigung der Grubenwasser zu viel Kosten verursacht, oder wenn die Kohle von zu geringer Qualität ist. In allzu grossen Tiefen hört der Kohlenbergbau auf, insbesondere wegen der hohen Wärmegrade und wegen der Schwierigkeit der Gewölbestützung. In mehr als 1300 Meter Tiefe dürfte er wohl kaum noch möglich sein.

Wie die Mächtigkeit, so wechselt auch die Zahl der Kohlenflötze ausserordentlich häufig und zwar nicht nur in verschiedenen Kohlendistricten, sondern sogar innerhalb verschiedener Regionen eines und desselben Kohlenbassins. Sehr selten ist das Vorkommen nur eines einzigen bauwürdigen Kohlenflötzes, wie bei Stockheim in der Oberpfalz. In der Regel begegnet man mehreren etagenweise über einander lagernden Flötzen. Das Kohlenbecken des Plauen'schen Grundes bei Dresden hat 3 bis 4, das von Zwickau 9 abbauwürdige Kohlenflötze. Doch sind dies immer noch verhältnissmässig wenige; denn oft trifft man sogar 100 und mehr Flötze über einander an. Immerhin bildet die Kohle auch in den reichsten Becken einen relativ unbedeutenden Theil der gesammten Gebirgsmasse. So ist im Newcastler Kohlenrevier in England die ganze Formation 1000 Meter mächtig und umschliesst gegen 30 Flötze mit zusammen nur 20 Meter Kohle. Im Saarbrückener Becken zählt man auf dem Durchschnitt von Dudweiler bis Numborn 164 über einander liegende Flötze mit 110 Meter Kohle, während die Mächtigkeit der ganzen Formation 3500 Meter beträgt. Die einzelnen Flötze sind dabei von sehr verschiedener Bedeutung, von den dünnsten Kohlenschnüren angefangen bis zu Flötzen von 6 und 10 Meter Mächtigkeit [1]).

Die Wiederholung der Kohlenflötze lässt sich nicht anders als durch Oscillationen jener Gebiete erklären, auf denen die carbonischen

[1]) J. Hann, F. v. Hochstetter und A. Pokorny, Allgemeine Erdkunde. Prag 1872. S. 227.

Wälder standen. So lange der Boden über den Meeresspiegel emporragte, war er mit einer üppigen Vegetation bekleidet; hierauf brausten eine Zeit lang Wasser über ihn hinweg, welche den Wald vernichteten und ihn mit Schlamm- und Sandmassen bedeckten. Tauchte das Festland wieder aus dem Ocean empor, so entwickelte sich eine neue Vegetation an derselben Stelle, bis auch diese dem Schicksal ihrer Vorgängerin verfiel. Natürlich beanspruchte dieses Auf- und Abwärtsschweben des Bodens ausserordentlich lange Zeiträume; in vielen Fällen mögen die Hebungs- und Senkungsperioden Tausende von Jahren umfasst haben.

Die meisten Kohlenbecken befinden sich am Rande carbonischer Meere, andere am Ufer continentaler Seebecken; man bezeichnet erstere als paralische, letztere als limnische Bildungen. Zu jenen, deren Schichten gleichförmig auf Kohlenkalk oder Culmschichten auflagern, gehören die grossen Kohlengebiete von Russland, Ober- und Niederschlesien, Westphalen, der Rheinprovinz, Belgien, England und Nordamerika, zu diesen die böhmischen und sächsischen Becken, sowie das von Saarbrücken und die im Innern von Frankreich.

Die Richtigkeit der älteren Anschauung, dass zur Kohlenzeit auf dem ganzen Erdkreis bis über die Polarkreise hinaus ein wärmeres Klima geherrscht habe, bezeugen arktische Kohlenflötze zwischen 70 und 78° n. Br., welche im wesentlichen dieselben Pflanzenformen bergen wie die Kohlenlager in der Aequatorialzone; ihre Entstehung war daher offenbar auch an ähnliche klimatische Vorbedingungen gebunden. Hand in Hand mit der höheren Erwärmung ging eine raschere Verdampfung des Meerwassers, sowie ein reichlicher Niederschlag. Nur ein solches warmes, feuchtes, frostloses Inselklima war im Stande, jene erstaunliche Fülle riesenhafter Gefässkryptogamen, wie sie das carbonische Zeitalter aufweist, in's Dasein zu rufen. Zu den besonderen Wärme- und Feuchtigkeitsverhältnissen der carbonischen Atmosphäre gesellte sich als ein drittes ihr eigenthümliches Merkmal ihr höherer Kohlensäuregehalt. Wir sind zu dieser Annahme genöthigt durch die Erwägung, dass der gesammte Kohlenstoff der Steinkohlenflötze durch die Thätigkeit der carbonischen Gewächse der damaligen Atmosphäre entzogen wurde. Diese verlor demnach ganz enorme Quantitäten von Kohlensäure und musste somit vorher noch viel reicher von dieser erfüllt gewesen sein. Wir dürfen, um dies zu begründen, nur anführen, dass im Saarbecken allein gegen 864 000 Millionen Centner Steinkohlen liegen und dass in der Entstehungsperiode derselben gleichzeitig viele Milliarden Centner von Kohlenstoff an den verschiedensten Orten der Erde der Luft entzogen wurden, ohne dass dieselbe ihre Fähigkeit einbüsste, neue Vegetationen zu ernähren.

Die Kohlenflötze gewähren uns ferner ein Mittel, wenigstens einen Minimalwerth für die Dauer der Kohlenzeit festzustellen. Chevandier hat berechnet, dass ein kräftiger, hundertjähriger Buchenwald, über das von ihm bedeckte Areal ausgebreitet und in Kohle verwandelt, eine 16 Millimeter hohe Schicht zurücklassen würde. Demnach war zur Bildung der 110 Meter mächtigen Saarbrückener Flötze — ganz abgesehen von der Ablagerung des Zwischengesteins — ein Zeitraum von 687 500 Jahren erforderlich. Die gesammte Formation aber beanspruchte zu ihrem Aufbau sicher Millionen von Jahren.

Von weit geringerem Interesse als die carbonische Pflanzenwelt ist die Thierwelt dieses Zeitalters.

Die Trilobiten sind nur noch durch zwei Gattungen (Phillipsia und Griffithides) vertreten und zwar durch wenige unansehnliche Arten. Unter den Mollusken verlieren die Cephalopoden und Brachiopoden an Bedeutung (von ersteren finden sich die Geschlechter Orthoceras, Nautilus und Goniatites, von letzteren Productus, Spirifer und Spirigera); neben ihnen gewinnen die Gastropoden (Schnecken) an Wichtigkeit. Die Korallen besitzen durchweg noch einen paläozoischen Habitus und gehören ausschliesslich den Zoantharia rugosa und tabulata an. Die Crinoideen und zwar sowohl die echten armtragenden wie die Blastoideen (Knospenstrahler, weil auf dem runden, mit Nahrungscanal versehenen Stiele fünfstrahlige Kelche sitzen, deren Form einer aufbrechenden Blumenknospe ähnelt,) erreichen in der Kohlenzeit den Höhepunkt ihrer Entwicklung; die letzteren weisen sogar 40 Arten auf. Ferner zeigen sich die ersten Spuren landbewohnender und luftathmender Thiere; denn man kennt die Flügeldecken von Käfern, die Flügel von Schaben (Blattina aus dem Kohlengebirge von Wettin), Tausendfüsse, ein paar Skorpione und einige Spinnen (Palarachnea von Radnitz und Protolycosa von Oberschlesien). Die carbonischen Fische sind theils echte Knorpelfische, theils kleinschuppige Schmelzschupper (Ganoiden) mit ungleichen Lappen der Schwanzflossen. Bedeutsam ist das Erscheinen der Amphibien auf der Weltbühne; doch begegnen wir unter ihnen Gestalten, welche der heutigen Thierwelt völlig fremd sind. Bis auf eine Species zählen sie alle zu der Familie der Froschsaurier (Labyrinthodonten). Durch ihre grossen, conischen, in Zahnhöhlen steckenden Zähne und ihre Schuppenpanzer erinnern sie an die Echsen, während ihre kurzen Rippen und grossen Gaumenlöcher, sowie der doppelte Hinterhauptsgelenkkopf sie in nähere Beziehungen zu den Batrachiern bringen. Ihre Wirbelsäule ist nur sehr unvollkommen verknöchert und der Schädel mit glänzenden, knöchernen Platten bedeckt. Das letzte Merkmal kommt sonst nur den Knochenfischen zu. Es vereinigen sich also in ihnen Eigenthümlichkeiten, die wir jetzt ge-

trennt bei Echsen, Batrachiern und Fischen suchen müssen; derartige Formen bezeichnet man als Collectivtypen. Ob in diesem Zeitalter schon echte Reptilien lebten, kann nicht mit Sicherheit entschieden werden; gewisse Reste scheinen allerdings von schwimmenden, mit Flossenfüssen ausgerüsteten Sauriern (Enaliosaurier) herzurühren. Es würden dies die ersten Vorläufer derjenigen Thiere sein, die schon in der Dyas zu reicherer Entwicklung gelangen sollten.

Unter allen Ländern Europa's ist keines durch Ausdehnung und günstige Lage seiner Steinkohlenformation so bevorzugt wie Grossbritannien. Dieselbe umfasst hier ein Areal von 480 Quadratmeilen und zerfällt in eine Anzahl isolirter Bassins, deren wichtigste die von Südwales, Derbyshire, Yorkshire, Northumberland, Schottland und Irland sind. Auf dem europäischen Continent besitzen Belgien und glücklicher Weise auch Deutschland ausgedehnte Gebiete des productiven Steinkohlengebirges. Ein verhältnissmässig schmaler Streifen zieht sich an dem Nordabhang der Ardennen das Maasthal entlang über Namur nach Aachen, wird dann durch das Rheinthal unterbrochen, taucht aber am Nordrande des westphälischen Devongebirges wieder empor und endet etwa bei Stadtberge. An dem Südwestabhange des Hunsrück liegt das Kohlenbecken von Saarbrücken. Die der productiven Steinkohlenformation angehörenden isolirten Partien bei Ibbenbüren stehen wahrscheinlich mit dem westphälischen Steinkohlengebirge in unterirdischer Verbindung. Unbedeutend sind die Kohlenterrains von Wettin und Löbejün in der Provinz Sachsen, ansehnlicher in dem Königreich Sachsen das Zwickau-Lugauer Revier und das kleinere Becken des Plauen'schen Grundes zwischen Dresden und Tharandt, ferner das niederschlesische Steinkohlengebiet bei Waldenburg und das oberschlesische bei Gleiwitz, welches letztere nach dem westphälischen das wichtigste im deutschen Reiche ist. Dasselbe setzt sich in südlicher Richtung durch Oesterreichisch-Schlesien und Mähren bis Brünn fort und nimmt einen Raum von mehr als 100 Quadratmeilen ein. Auch Böhmen besitzt reiche Steinkohlenlager (namentlich bei Pilsen). Frankreich, Spanien und Portugal sind wenig mit Steinkohlen gesegnet; denn es giebt hier nur vereinzelt kleinere Mulden. Dasselbe gilt von den Alpen und von Italien, wo die carbonische Formation auf Toscana und die Insel Sardinien beschränkt ist. In Russland erstreckt sich die Kohlenformation zwar über weite Gebiete, ist jedoch zum grössten Theile von Perm und Jura überlagert. Am wichtigsten sind hier, wenn wir von dem polnischen Kohlenrevier absehen, welches ein Glied des oberschlesischen ist, die Kohlenbezirke bei Moskau, auf dem Donezplateau, zu beiden Seiten des Ural und am Kaukasus. Im asiatischen Russland sind carbonische Schichten am

Altai und am Amur mit Sicherheit nachgewiesen. Nach v. Richthofen hat ferner die Kohlenformation in China eine ausserordentliche Verbreitung. Doch treten alle die genannten Gebiete in den Hintergrund gegen die Kohlenformation in Nordamerika. Der productive Theil zerfällt in das grosse appalachische Kohlenfeld am Westabfall der Alleghanies (2400 Quadratmeilen), in das Illinois- und Missouri-Kohlenfeld (ebenso gross wie das vorige), in das von Michigan (200 Quadratmeilen), das des nördlichen Texas, das von Rhode-Island (34 Quadratmeilen) und die von Nova Scotia und New-Brunswick (740 Quadratmeilen).

Die permische Formation oder die Dyas trägt den ersten Namen, weil sie sich im Gouvernement Perm in Russland über weite Räume ausdehnt; der Name Dyas deutet darauf hin, dass sie sich da, wo sie typisch entwickelt ist, wie in Deutschland und England, in zwei Hauptglieder zerlegen lässt: in das Rothliegende und den Zechstein; doch ist in vielen dyassischen Gebieten diese Trennung nicht scharf durchzuführen. Die untere Abtheilung, das Rothliegende (der Lower New Red Sandstone der Engländer), wird hauptsächlich aus rothem Sandstein und Conglomeraten gebildet und enthält fast nur organische Reste von Landpflanzen; die obere Abtheilung hingegen, der Zechstein (der Magnesian Limestone der Engländer), besteht meist aus schwarzem, bituminösem, kupferreichem Schiefer, sowie aus grauem, unreinem, marinem Kalkstein und schliesst nur Meeresthiere ein. In Deutschland, insbesondere in Thüringen und am Harze (bei Mansfeld), und ebenso in Russland ist die Dyas reich an Kupfererzen und nächstdem auch an Gyps und Steinsalz.

Wo, wie in Böhmen, Sachsen und anderwärts, die Dyas nur als Rothliegendes auftritt, ist sie, analog den limnischen Steinkohlenbecken, eine Süsswasserbildung. Wo hingegen, wie in Thüringen und in England, beide Abtheilungen vereint vorkommen, ist das Rothliegende eine paralische Strandbildung, auf welcher sich später nach fortgesetzter Senkung des Bodens der Zechstein als Meeresproduct ablagerte.

Flora und Fauna entfalten in der Dyas nicht jene frische Lebenskraft wie in den früheren Formationen; sie erscheinen vergleichsweise armselig. Doch fehlt es nicht an charakteristischen Typen.

Die dyassische Flora schliesst sich eng an die carbonische an. Lepidodendren und Sigillarien sind jedoch schon fast ganz verschwunden, woraus sich zugleich das seltenere Auftreten und die geringere Mächtigkeit der Kohlenlager erklärt. Dagegen sind die Calamiten (mit dem sehr charakteristischen C. gigas Brong.) und zum Theil baumhohen Farne (Sphenopteris, Neuropteris, Odontopteris u. a.) noch in üppiger Entwicklung und weisen zahlreiche Arten auf. Neben den

Strünken riesiger Baumfarne (Psaronius) begegnet man Coniferen-Stammstücken von mehr als einem Meter Durchmesser. Ausserordentlich weit verbreitet sind ferner die Walchien, eine Mittelform zwischen Lykopodiaceen und Coniferen. Nur selten wurden die Coniferen-Stämme aus der Dyas in Steinkohle verwandelt; häufiger wurden sie von Kieselsäure durchdrungen und völlig versteinert. Dieselben sind oft auf kleinem Raum in so reicher Menge vorhanden, dass man wohl gar von versteinerten Wäldern spricht. Der bekannteste derselben liegt bei Radowenz unweit Adersbach in Böhmen.

Auch die Fauna der Dyas besteht fast nur aus dürftigen Ueberresten des carbonischen Zeitalters und ist fast ganz auf die marinen Gebilde beschränkt. Die Trilobiten sterben aus, und damit verschwindet diese merkwürdige Crustaceenordnung für immer von dem Schauplatz der Natur. Unter den Mollusken spielen die Cephalopoden und Gastropoden eine ganz untergeordnete Rolle; hingegen zeigen die Brachiopodengeschlechter Productus, Spirifer, Strophalosia und Strophomena eine überaus grosse Individuenzahl. Die Korallen gehören noch zu den paläozoischen Formen (Zoantharia tabulata). Die Fische sind meist Schmelzschupper mit unsymmetrischen Schwanzflossen (heterocercale Ganoiden); wichtig sind namentlich die Geschlechter Palaeoniscus und Platysomus. Zu den Froschsauriern zählt der durch einen glänzenden, rauhen, knöchernen Schädel, kräftige, kegelförmige Fangzähne und geschuppten Körper ausgezeichnete Archegosaurus. In den Lebacher Schiefern, welche die Saarbrückener Kohlenformation überlagern, kommt derselbe überaus häufig vor. Den Gipfelpunkt ihrer Entwicklung erreicht die dyassische Thierwelt in einem echten Reptil, einer dem ägyptischen Monitor in Grösse und Gestalt nahestehenden Landeidechse, deren Reste in der englischen und deutschen Dyas (z. B. bei Mansfeld) gefunden werden und die den Namen Proterosaurus führt.

In dem dyassischen Zeitalter tauchten ansehnliche Gebiete der nördlichen Halbkugel aus dem Meere empor; denn die marinen Gebilde in Centralrussland, namentlich in den Gouvernements Perm, Orenburg, Kasan und Nischnii Nowgorod längs der Westseite des Ural umfassen allein ein Gebiet von 18000 Quadratmeilen. Viel kleinere Räume bedecken die dyassischen Gebilde am Harze, in Thüringen, im Königreich Sachsen (Chemnitz, Zwickau), am Nordabhang des Riesengebirges, in Böhmen, am Südwestrande des Fichtelgebirges und des Böhmer Waldes, an der Südseite des Hunsrück, sowie in dem nördlichen Theile von England. In Nordamerika tritt die permische Formation nur in dem westlichen Theile des Continents zu Tage; sie zieht sich als ein verhältnissmässig schmaler Streifen am östlichen Fusse des Felsengebirges durch die Staaten Texas, Kansas und Nebraska.

Am Ende der paläozoischen Periode erfolgte eine tief greifende Veränderung des bisherigen organischen Lebens; die meisten Thier- und Pflanzenformen erloschen, und es erstand eine neue, formenreichere, höher organisirte Welt. Mit ihrem Erscheinen beginnt eine neue, die mesozoische Aera.

3. Die mesozoische Formationsgruppe.

Dürfen wir die paläozoische Gruppe als das Alterthum in der Entwicklungsgeschichte des organischen Lebens betrachten, so haben wir es hier gewissermassen mit dem Mittelalter zu thun. Dasselbe umschliesst die drei sogenannten secundären Formationen: die Trias, die Jura- und Kreideformation.

Als charakteristische Merkmale der organischen Welt heben wir hervor: Die paläozoischen Dschungeln von Calamiten, Sigillarien und Lepidodendren sind für immer verschwunden, und an ihrer Stelle breiten sich Waldungen von tropischen und später von subtropischen Coniferen aus, zwischen denen mächtige Farne und riesige Equisetaceen (Schachtelhalme) üppig wuchern. Die Cycadeen (Zapfenpalmen) entfalten sich in diesem Zeitalter reicher als in jedem anderen; auch treten die ersten Repräsentanten der späterhin zur ausgedehntesten Herrschaft gelangenden dikotyledonischen Laubhölzer auf.

Ebenso erfuhr das Thierleben eine bedeutende Umgestaltung. Die Trilobiten werden ersetzt durch langschwänzige Krebse (Macruren), sowie durch die ersten Krabben (Brachyuren). Unter den Mollusken gewinnen die Cephalopoden eine hervorragende Bedeutung in den Ceratiten, Ammoniten (Ammonshörner) und Belemniten (Donnerkeile). Erst jetzt erscheinen die riffbauenden Korallen (Zoantharia perforata und eporosa), sowie die echten Echiniden (Seeigel), welche von nun an nicht wieder verschwinden. Die heterocercalen Ganoiden sterben allmählich aus, um homocercalen Ganoiden (Schmelzschupper mit symmetrischen, also gleichlappigen Schwanzflossen) Platz zu machen; auch finden sich hier die ersten echten Haie, sowie die ersten wahren Knochenfische mit festen Wirbeln. Die letztgenannten Thiere sind gewissermassen die Vorläufer der Typen, welche die heutige Fischwelt bilden; denn etwa neun Zehntel aller lebenden Fische zählen zu ihnen. Gleich sehr durch ihre riesenhafte Gestalt wie durch häufiges Vorkommen ausgezeichnet sind die Reptilien und unter ihnen speciell die Saurier. Auch zeigen sich in diesen Formationen bereits Spuren von Vögeln, sowie von Säugethieren aus der Ordnung der Beutelthiere.

Eigenthümlich sind der mesozoischen Thierwelt zahlreiche Collectivtypen (Mischformen). Viele Thiere haben nämlich Eigenschaften, welche sich später niemals in einer Thiergestalt vereinigen, sondern

auf verschiedene Gattungen vertheilt sind. Zu diesen Thieren gehören z. B. Mastodonsaurus (mit Frosch- und Sauriermerkmalen), Ichthyosaurus (mit Saurier- und Fischmerkmalen), Dinosaurus (mit Eidechsen-, Krokodil-, Vögel- und Säugethiermerkmalen), Archaeopterix (mit Vogel- und Reptilmerkmalen) u. a. Diese Formen tragen zwar das Gepräge der Unfertigkeit an sich; zugleich aber verrathen sie eine gewisse jugendliche Kraft und Entwicklungsfähigkeit und weisen darauf hin, dass aus ihnen durch Theilung später neue Gestalten entstehen sollten.

Die Trias hat ihren Namen von den drei durch petrographische und theilweise auch durch paläontologische Eigenthümlichkeiten scharf von einander geschiedenen Formationsgliedern, welche von unten nach oben die Namen: Bunter Sandstein, Muschelkalk und Keuper führen. Vor allem hat Süd- und Mitteldeutschland eine wahre Trias; in England, Südfrankreich, Spanien und Russland fehlt fast überall das eine oder das andere Glied; sie ist hier also streng genommen nur eine Dyas. Ihre Mächtigkeit schwankt zwischen 1000 und 3000 Metern.

Die unterste Abtheilung ist, wie dies der Name andeutet, vorwaltend aus sehr verschiedenartig gefärbten Sandsteinen zusammengesetzt und enthält nur wenige organische Reste. Als charakteristische Formen sind hervorzuheben: Equisetum arenaceum Brong., das älteste echte Equisetum, einige Farne (wie Anomopteris Mougeoti Schimp. und Caulopteris Voltzi Schimp.) und die Voltzien (unter die Coniferen gehörend und den Cypressen ähnlich). Bei Hildburghausen, Coburg und anderwärts giebt es in den oberen Horizonten des Buntsandsteins Schichtflächen, welche mit fünfzehigen Fussspuren bedeckt sind. Man schreibt dieselben einem Froschsaurier von gewaltigen Dimensionen zu und hat diesen wegen der Aehnlichkeit jener Fusstapfen mit dem Abdruck einer Hand Chirotherium genannt. Ebenso lassen sich oft weithin die Spuren von zweibeinigen Geschöpfen mit dreizehigen Füssen verfolgen, welche jedenfalls von Vögeln herrühren. Die Grösse derselben muss in einzelnen Fällen eine ungeheure gewesen sein, da ihre Zehenabdrücke bisweilen 20 Centimeter lang und $1^1/_2$ bis 2 Meter weit von einander entfernt sind.

Die zweite Abtheilung der Trias, der Muschelkalk, ist im wesentlichen aus unreinem, dunkelgrauem Kalk gebildet, daneben auch aus thonigen Mergeln, Dolomit, Gyps und Steinsalz. Da der Muschelkalk marinen Ursprungs ist, so birgt er nur sehr wenige Spuren von Pflanzen, dafür aber um so zahlreichere Ueberreste von Seethieren, z. B. von Crinoideen (Encrinus liliiformis, Seelilie), Brachiopoden (Terebratula vulgaris), Zweischalern (Ostrea placunoides, Lima striata), Gastropoden (Dentalium laeve), Cephalopoden (Ceratites nodosus) etc. Korallen fehlen gänzlich. Bemerkenswerth ist noch das Vorkommen langschwän-

ziger Krebse (Pemphix), mehrerer Fische, sowie einiger Meersaurier. Ist auch die Muschelkalkfauna reich an Individuen, so entbehrt sie doch aller Manigfaltigkeit.

Die dritte Abtheilung der Trias, der Keuper, besteht vornehmlich aus bunten Mergeln, zu denen sich häufig noch Buntsandsteine, Gyps und Steinsalz gesellen. Die Keuperperiode besass kein reiches organisches Leben. Der Keuper enthält schenkeldicke Schachtelhalme (Equisetum arenaceum, E. columnare), welche jedoch gleich den Farnen an Wichtigkeit verlieren. Dagegen gewinnen die Cycadeen eine grössere Bedeutung und ebenso die Coniferen, deren wichtigste Vertreter noch immer die Voltzien sind. Die thierischen Reste sind im Keuper sehr spärlich vorhanden; nur hie und da begegnet man grösseren Ansammlungen von Fisch-, Labyrinthodonten- und Saurierresten. Eine Ausnahme macht der oberste Keuper; er ist so sehr von Fischschuppen, Flossenstacheln, Gräten, Reptilienknochen und Excrementen erfüllt, dass man ihn als Knochenbett (Bonebed) bezeichnet. In diesem sind uns auch (und zwar in Württemberg) die ältesten Reste von Säugethieren aufbewahrt, nämlich kleine, zweiwurzelige Zähne, welche wahrscheinlich von einem Beutelthiere (Mikrolestes antiquus) stammen.

Gewährt die Trias dem Paläontologen nur eine mässige Ausbeute, so ist sie doch von um so höherem national-ökonomischem Werthe, da sie nicht bloss einen trefflichen Wald- und Feldboden abgiebt, sondern auch die reichsten Lager von Steinsalz umschliesst, weshalb man sie früher geradezu „Salzgebirge“ genannt hat. Zwar finden sich grosse Salzlager auch in anderen Formationen, so im Silur (Nordamerika), in der Kreideformation (Peru), im Tertiär (Wieliczka), doch bei weitem nicht so häufig wie in der Trias. So liegen die berühmten Salzlager von Stassfurth und Schönebeck unter einer Decke von buntem Sandstein, die Lager in der nördlichen Schweiz, in Baden, Schwaben, Franken, Brandenburg (Sperenberg) und Holstein (Segeberg) im Muschelkalk, die englischen Salzlager bei Liverpool und die französischen bei Château Salins im Keuper.

In Deutschland breitet sich die Trias an der Westseite der Vogesen in Lothringen und an der Ostseite des Schwarzwaldes und Odenwaldes in Schwaben aus und erstreckt sich durch Spessart und Rhön nach dem Reg.-Bezirk Cassel und Thüringen. Dort bedeckt sie den weiten Raum zwischen dem rheinischen Schiefergebirge, dem Harze, dem Vogtlande und dem Thüringer Walde. Ferner besitzt auch Oberschlesien triassische Districte. In Deutschland bietet zwar das Buntsandsteingebiet dem auf der Hochfläche weilenden Beobachter keinerlei Abwechslung dar, sondern zeigt ihm nur langgezogene einförmige Gebirgslinien; aber es birgt in seinem Innern in Folge der starken Zer-

klüftung herrliche Landschaften: steil abstürzende Felsen und eine chaotische Zertrümmerung der Massen; dazu trägt es den herrlichsten Tannen- und Buchenwald. Das fruchtbarere Gebiet des Muschelkalkes hingegen verscheucht den Wald. Weithin erblickt hier das Auge wogende Kornfelder; nur die höheren Theile werden als Weideland benützt, und kleinere Waldungen krönen die Gipfel der Berge. Auch hier beschränken sich die landschaftlichen Reize auf die Thäler. Der Keuper endlich, ausgezeichnet durch ein reich bewegtes Relief, wie durch die bunten, grellen Farben der Mergel, bildet den fruchtbaren Boden für die schwäbischen und lothringischen Weinberge und für die Hopfengärten Mittelfranken's.

In den Alpen ist die Trias in petrographischer wie paläontologischer Hinsicht eigenthümlich entwickelt. Bemerkenswerth sind namentlich die ausserordentlich complicirten Lagerungsverhältnisse und das vereinigte Vorkommen echt paläozoischer und verfrüht erscheinender mesozoischer Organismen. In England nimmt die Trias, eine bandförmige Zone darstellend, ein ansehnliches Terrain ein; doch fehlt ihr hier das Mittelglied, der Muschelkalk. In Nordamerika tritt die triassische New Red Sandstone-Formation an zahlreichen Stellen der atlantischen Küstenebene auf und begleitet den Ostabfall der Rocky-Mountains vom Oberen See bis Texas; ihre Thonletten bewirken die Färbung zahlreicher Flüsse, so des Rio Colorado, des Red River, der Rivière Rouge u. a.

Die Juraformation ist nach dem Schweizer Jura benannt worden, weil sie den geologischen Bau desselben vollständig beherrscht und hier zuerst richtig erkannt worden ist. Sie ist bis 1000 Meter mächtig und wird hauptsächlich zusammengesetzt aus Kalksteinen, Mergeln, Sandsteinen, Schieferthonen und plastischen Thonen. In den mittleren Horizonten des Jurasystems bestehen die gelblich-weissen Kalksteine häufig aus lauter winzigen, Fischeiern ähnlichen Körnchen, weshalb man diese als Baumaterial sehr gesuchten Gesteine Rogensteine oder Oolithe, die ganze Formation aber „Oolithenformation" genannt hat. Schon L. v. Buch hat dieselbe nach der Verschiedenartigkeit des paläontologischen Habitus in drei Theile zerlegt und ihnen nach der Farbe des vorherrschenden Gesteins die Namen schwarzer Jura, brauner Jura und weisser Jura gegeben, wofür man wohl auch die Namen Lias, Dogger und Malm braucht. Diese zerfallen wiederum in zahlreiche Unterabtheilungen. Es handelt sich natürlich hier nur darum, das organische Leben des jurassischen Zeitalters im allgemeinen zu charakterisiren.

Längst verschwunden sind in dieser Periode die Dickichte der Lepidodendren, Sigillarien und Calamiten, und an ihrer Stelle breiten

sich weite Wälder von echten Nadelhölzern aus, unter welche sich nicht selten Cycadeen mischen. Farne und Schachtelhalme (Equiseten) bedecken den Boden der Waldungen. Die früher so überaus wichtigen Kryptogamen sind im allgemeinen durch die höher organisirten Gymnospermen zurückgedrängt worden; das Pflanzenleben hat sich also unverkennbar zu einer höheren Entwicklungsstufe erhoben.

Noch vielmehr gilt dies von der Fauna; denn die Juraformation zeigt einen ganz überraschenden Formenreichthum. Viele völlig neue Gestalten erscheinen auf dem Schauplatze der Natur, Gestalten, welche denen der Gegenwart zwar immer noch als Fremdlinge gegenüber stehen, aber doch nicht mehr in dem Grade wie die des paläozoischen Zeitalters. Unter den Mollusken erlangen die beiden Cephalopodengeschlechter Ammonites (Ammonshörner) und Belemnites (im Volksmunde als „Teufelsfinger" bezeichnet) nicht bloss durch ihre enorme Individuenzahl, sondern auch durch die Menge der Species, von denen viele nur einem gewissen Horizonte der Formation angehören, eine ausserordentliche Bedeutung. Ferner finden sich in grosser Anzahl die Gastropoden (Schnecken) — unter diesen besonders die Gattungen Pleurotomaria und Nerinea in den mittel-, resp. oberjurassischen Horizonten — und die Brachiopoden (namentlich die Genera Terebratula und Rhynchonella). Nicht minder reichlich sind die Zweischaler vertreten durch Trigonia, Mytilus, Avicula, Pecten. In manchen Schichten sind ganze Austerbänke begraben; so ist namentlich im unteren Lias Gryphaea in ungewöhnlichen Massen vorhanden. Die Korallen unterscheiden sich zwar noch durch gewisse Merkmale von den jetzt lebenden; doch besitzt ihre ganze Tracht, sowie die Art ihres Vorkommens so wenig Eigenthümliches, dass der Totalcharakter ihrer Bauten wahrscheinlich mit dem der heutigen Atolle und Korallenriffe völlig übereinstimmte. Seeschwämme und Seeigel sind sehr häufig. Die Fische haben das charakteristische Kennzeichen früherer Zeitalter, die ungleichen Schwanzflossen, verloren; doch bilden sie zu den Fischen der Gegenwart noch immer insofern einen scharfen Gegensatz, als sie Schmelzschupper (Ganoiden) und Knorpelfische sind; höchstens kann man die wenig ansehnlichen Gattungen Leptolepis, Thrissops und Aethalion als die ersten Repräsentanten der echten Knochenfische betrachten. Die imposantesten Meeresthiere der Juraformation sind ohne Zweifel zwei Saurier: der Ichthyosaurus und Plesiosaurus, welche beide offenbar Meeresbewohner waren. Die Gestalt des ersteren ist der eines Delphins ähnlich. Sein Kopf endet in einer langen, geraden und zugespitzten Schnauze, und der Rachen ist mit derben, spitzen Zähnen bewaffnet, welche in einer gemeinsamen Rinne befestigt sind. Die Gehirnhöhle ist sehr klein; da-

gegen sind die von gegliederten Knochenringen umgebenen Augen von enormer Grösse. Die Wirbelsäule besteht aus gegen 150 Wirbeln. Zahlreiche Rippen umschliessen den umfangreichen Bauch; doch sind sie nicht an das Brustbein geheftet, sondern durch dünne Bauchrippen förmlich zu einem korbähnlichen Geflechte verbunden. Hinter dem Becken folgt ein ausserordentlich langer Schwanz mit 80 und mehr Wirbeln. Die Form der Ruderfüsse erinnert lebhaft an die Flossen der Wale. Da von Hautschildern oder Schuppen niemals eine Spur entdeckt worden ist, so dürfen wir annehmen, dass die Haut des Ichthyosaurus nackt war. Er nährte sich meist von Fischen, wie uns die versteinerten Excremente (Koprolithen) bezeugen. Die Längendimensionen dieses riesigen Thieres variiren zwischen 3 und 13 Metern. — Der Plesiosaurus unterscheidet sich von dem Ichthyosaurus besonders durch seinen kleinen Kopf, den schlangenartigen Hals (mit 20 bis 40 Wirbeln, während doch Giraffe und Schwan, die langhalsigsten Thiere der Gegenwart, nur 7, resp. 23 Halswirbel haben,) und den kurzen Schwanz. Seine Länge beträgt 3 bis 5 Meter. Beide Thiere sind Collectivtypen; denn sie vereinen in sich den krokodilartigen Kopf mit der Wirbelsäule und den Ruderfüssen der Fische. Die Hauptfundorte der beiden gewaltigen Meeressaurier sind Lyme Regis (an der Küste von Dorsetshire in England), Boll in Württemberg und Banz bei Bamberg.

Wie die Seethiere, so erfahren auch die Land- und Süsswasserthiere in der Jurazeit eine Umgestaltung und Bereicherung. Zum ersten Male begegnen wir Fluss- und Sumpfschildkröten. Der Teleosaurus, Geosaurus und Mystriosaurus zeigen eine grosse Verwandtschaft mit dem Gangeskrokodil (Gavial); dagegen besitzen die Flugsaurier (Pterodactylus und Rhamphorhynchus) die abenteuerlichsten Formen. Es sind Echsen, deren Kopf und langer Hals eine gewisse Aehnlichkeit mit dem eines Wasservogels hat und die mit Hilfe einer nackten, fein gefältelten Flughaut, welche von dem ungeheuer verlängerten äusseren Finger der Vorderfüsse bis an die Wurzel der kurzen Hinterfüsse reichte, eine flatternde Bewegung ausführen konnten. Sie vermitteln den Uebergang zu den Vögeln, deren ältester Vertreter, der Archaeopteryx, ebenfalls dem Jura angehört. Ein Skelet dieses Vogels wurde im Jahre 1861 in dem lithographischen Schiefer von Solnhofen aufgefunden. Der Archaeopteryx nähert sich durch den Bau seines Schwanzes und Beckens den fliegenden Sauriern; im übrigen aber trägt er unverkennbare Merkmale eines Vogels an sich. Sein Gefieder ist zum Theil noch trefflich erhalten. Ueberreste von Säugethieren sind bisher im englischen Dogger und Malm (zuerst bei Stonesfield, dann auch anderwärts) entdeckt worden; alle sicher bestimmbaren Formen gehören in die Ordnung der Beutelthiere.

In Deutschland beherrscht die Juraformation drei grössere Territorien: das schwäbisch-fränkische, das des nordwestlichen Deutschland's und das von Oberschlesien. Das erste dieser Gebiete umfasst den schwäbischen und fränkischen Jura; es stellt demnach einen Winkel dar, dessen Scheitel in der Gegend von Regensburg liegt. Der südliche Schenkel streicht an dem Nordufer der Donau von Südwest nach Nordost, der nördliche hingegen am östlichen Ufer der Altmühl und Regnitz von Südsüdost nach Nordnordwest. Hier sind die drei Hauptabtheilungen des Jura leicht von einander zu trennen, zumal sie auch in orographischer Beziehung eine sehr verschiedene Rolle spielen. Der Lias breitet sich nach L. v. Buch's bezeichnenden Worten „wie ein Teppich“ vor den rasch ansteigenden, höheren und jüngeren Juraschichten aus und ist von den Flussläufen so durchfurcht, dass die Keuperschichten, auf denen er ruht, an der Thalsohle oft blossgelegt werden. Der Dogger, eine ungleich schmalere Zone, bildet, oft mehr oder weniger steile Abhänge darbietend, die wald- und wiesenreichen Vorhöhen der Rauhen Alp, während sich der Malm mit seinen steilen, weithin leuchtenden Felswänden mauerartig am Nordrande erhebt, um sich weithin zu einem wasserarmen, kahlen Plateau auszudehnen und nach Süden zu den Ufern der Donau allmählich herabzusteigen. — Das norddeutsche Juragebiet erstreckt sich von der holländischen Grenze bis in die Gegend von Halberstadt; doch wird es im Norden von Diluvialbildungen überlagert und tritt nur an seinem Südrande, d. i. an dem Südsaum der norddeutschen Tiefebene, als eine schmale Zone zu Tage. Es bildet das Wiehengebirge und den Süntel und ist weiter südostwärts (bei Göttingen, Eisenach, Gotha) angedeutet durch isolirte Schollen. Meist bestehen die Höhenrücken aus weissem Jura, während Dogger und Lias dieselben nur umsäumen. — Das dritte deutsche Juraterrain begleitet die preussisch-polnische Grenze von Krakau bis Czenstochau und greift tief in polnisches Gebiet hinein. Ihm fehlt der Lias.

In Russland bedeckt die Juraformation ansehnliche Räume des paläozoischen Bassins von Moskau und nimmt in der Krim und am Kaukasus Antheil an der Gebirgsbildung. In England reicht sie als ein breiter Streifen von Portland am Canal über Bath und Oxford nach Norden bis Whitby nördlich der Trentmündung und entwickelt hier alle drei Hauptglieder. In Frankreich beschreibt die Juraformation zwei Ringzonen, von denen die nördliche gegen den Canal hin geöffnet ist, die südliche aber das granitische Centralplateau Frankreich's umgürtet. Im Schweizer Jura sind die jurassischen Schichten zu einer Anzahl von Parallelketten gefaltet. Auch an dem Aufbau des Alpensystems ist die Juraformation wesentlich betheiligt; denn sie

umrahmt im Süden, Westen und Norden bandartig den krystallinischen centralen Theil dieses Hochgebirges. Ferner wurden jurassische Schichten in Sibirien, Ostindien, Chile und am Ostrande der Rocky-Mountains nachgewiesen.

Die Kreideformation verdankt ihren Namen dem zufälligen Umstande, dass sie in Nordfrankreich und England, wo sie zuerst genauer untersucht wurde, als wesentlichen und charakteristischen Bestandtheil weisse Kreide (Schreibkreide) enthält. Es hat sich nämlich später gezeigt, dass gerade diese Formation ein ausserordentlich manigfaltiges Gesteinsmaterial besitzt. In reichstem Masse sind die Quadersandsteine vorhanden, weshalb man sie wohl auch als Quaderformation bezeichnet. Wiederholt treten lose Quarzsande und Grünsandsteine (glaukonitische Sandsteine) an die Stelle des Quaders. Ferner finden sich mergelige Kalksteine und Mergel mit ihren Varietäten (Glaukonitmergel, Pläner, Kreide- und Flammenmergel), reine Kalksteine, verschiedene Varietäten der Schreibkreide, welche übrigens nur auf die obersten Horizonte der Kreideformation beschränkt ist, sowie Thone und Schieferthone. Ausserdem birgt die Kreideformation nicht unwichtige Lager von Steinkohlen (in Nordwestdeutschland die Wealdenkohle) und Eisenerzen.

Nach dem verschiedenen paläontologischen Charakter, welcher den einzelnen Horizonten der Kreidezeit zukommt, zerlegt man sie nach dem Vorgange d'Orbigny's, der sie zuerst in Frankreich genauer erforschte, in fünf Abtheilungen, nämlich (von unten nach oben) in Neocom (nebst dem Wealden), Gault, Cenoman, Turon, Senon.

Da die Kreideformation vorwiegend aus marinen Schichten gebildet ist, so sind Pflanzenüberreste in derselben ziemlich selten; nur an den ehemaligen Küsten begegnet man eingeschwemmten Landpflanzen und bisweilen sogar kleineren Kohlenlagern. In der unteren Abtheilung der Kreideformation sind die Geschlechter der Farne, Cycadeen und Coniferen dieselben wie im Jura. In der Mitte dieses Zeitalters aber, im Cenoman, tauchen — ein wichtiger Fortschritt in der Entwicklung des Pflanzenlebens — zum ersten Male immergrüne dikotyledonische Laubhölzer auf, während die Farne, sowie die Cycadeen und die rein tropischen Formen der Coniferen an Bedeutung ausserordentlich verlieren, zumal jene Laubbäume sofort in gewaltiger Menge erscheinen und der cretaceïschen Flora einen ganz anderen Gesammtcharakter verleihen. Zu den Laubbäumen der oberen Kreidezeit gehören insbesondere immergrüne Eichen, Feigen, Taxus und Proteaceen, von denen die letzteren jetzt im Caplande und Australien am besten gedeihen. Da sich die genannten Pflanzen, denen sich noch mehrere Fächerpalmen und Pandanen zugesellen, ziemlich weit polwärts ver-

breiteten, so ist wohl, was namentlich Heer's Untersuchungen über die cretacëische Flora Grönland's und Spitzbergen's bestätigen, die Annahme gerechtfertigt, dass zur Kreidezeit wenn auch kein tropisches, so doch ein subtropisches Klima bis zu den Polargebieten herrschte.

Ueberaus reich ist die Kreideformation an thierischen Fossilien. Die Foraminiferen treten in ungeheurer Menge auf und machen einen wesentlichen Bestandtheil der weissen Schreibkreide, wie überhaupt der obersten Horizonte dieser Formation aus. Ein grosser Theil derselben ist nur mit Hilfe des Mikroskops sichtbar; trotz dieser Kleinheit vermochten sie jedoch durch massenhafte Anhäufung Schichten von gegen 150 Meter Mächtigkeit zu bilden, wie wir sie an den Gestaden der Insel Rügen erblicken. Durch ihre niedlichen Formen ausgezeichnet und auch dem unbewaffneten Auge erkennbar sind die Geschlechter Textularia, Frondicularia, Siderolithes u. a. Die Spongien (Seeschwämme) sind in der Kreide noch viel manigfaltiger und zierlicher als im Jura. Ihre Gestalt gleicht bald einem Pokal, bald einer Feige, welche durch einen Stiel am Boden befestigt ist (Siphonia ficus), bald einem Schirm (Coeloptychium), bald einem Korbgeflecht (Scyphia und Manon). Korallenbauten fehlen zwar der Kreide nicht ganz; doch sind sie viel seltener als in der Juraformation. Die Seeigel (Echiniden) erreichen in der Kreidezeit das Maximum ihrer Entwicklung. Die wichtigsten charakteristischen Gattungen sind Ananchytes, Galerites, Holaster, Micraster und Toxaster.

Die Brachiopodengeschlechter Terebratula und Rhynchonella weisen noch immer zahlreiche Arten und viele Individuen auf. Unter den Gastropoden sind die Gattungen Nerinea, Actaeonella, Tornatella und Fusus sehr häufig. Von den Zweischalern liefern die Gattungen Exogyra, Gryphaea, Trigonia, Spondylus und Inoceramus eine Anzahl Leitfossilien; besonders wichtig aber sind die ausschliesslich cretacëischen Hippuriten oder Rudisten. Die letzteren sind namentlich in überraschender Menge in dem nach ihnen genannten Hippuritenkalke Südeuropa's und Amerika's enthalten. Ferner haben die Ammoniten in der unteren Kreide noch eine Blütheperiode; dann aber beginnt ihre Degeneration, welche mit ihrem gänzlichen Erlöschen am Ausgang der Kreidezeit endet. Ihrer völligen Vernichtung gehen höchst merkwürdige Formenverkrüppelungen voraus. Bei der Gattung Scaphites bleiben zwar noch die inneren Windungen; aber die äusseren biegen sich zu einem kahnartigen Gehäuse auf; bei Ancyloceras geschieht dies auch theilweise mit den inneren Windungen; bei Hamites verwandelt sich das ganze Gehäuse zu einem hakenähnlichen Gebilde; Baculites hat die Gestalt einer nahezu geraden, stabförmigen Röhre, welche in Turrilites zu einer Schraubenspirale aufgewunden ist. Auch die

Belemniten, die treuen Genossen der Ammoniten, verschwinden am Schlusse der Kreidezeit.

Von den Crustaceen erscheinen die ersten echten Krabben. Fischreste sind in der Kreide sehr häufig. Doch nehmen die Ganoiden an Formenreichthum und Häufigkeit ab, um den mit jugendlicher Kraft aufstrebenden echten Knochenfischen das Feld zu räumen; besonders sind die Kreis- und Kammschupper (Cycloiden und Ctenoiden) reich vertreten. Reptilienüberreste sind in der Kreideformation seltener als im Jura. Jurassische Nachzügler sind der Plesiosaurus, der Ichthyosaurus und der Pterodactylus. Der Kreideformation eigenthümlich ist der schlangenähnliche Mosasaurus, eine gigantische Meereidechse, welche besser als irgend ein anderes Thier der Vorwelt dem fabelhaften Begriff der Seeschlange entspricht. Fossile Vögel und Säugethiere aus dieser Periode sind bis jetzt in Europa noch nicht ermittelt worden; ihr thatsächliches Vorkommen dürfte jedoch nicht zweifelhaft sein, da sie bereits in dem Jura, ja schon in der oberen Trias gefunden worden sind. Dagegen ist es Marsh gelungen, in der Kreideformation von Kansas Ueberreste von Vögeln mit Zähnen und biconcaven Wirbeln (Ichthyornis und Odontornis) nachzuweisen.

Nirgends in Europa erstreckt sich die Kreideformation über so grosse Räume wie in England, Frankreich und Deutschland. In England bildet die Kreide den Untergrund des ganzen östlich von der Jurazone liegenden Terrains (s. S. 324), wird jedoch theilweise von der Tertiärformation überlagert. In Frankreich stellt die Kreideformation drei grosse Becken dar. Das nördliche, welches einer tellerförmigen Schale gleicht und von Seine und Loire entwässert wird, hat Paris zum Mittelpunkte; dasselbe ist in seinem Inneren von tertiären Schichten erfüllt. Das zweite, welches von dem granitischen Centralplateau Frankreich's bis zu den Pyrenäen reicht, gehört dem Stromgebiet der Garonne an; das dritte endlich wird von dem unteren Rhône durchschnitten. Von dem letzteren aus geht eine schmale Zone durch die Schweiz, Bayern, Tirol und Salzburg nach Oesterreich. Ein weites Kreidegebiet breitet sich ferner über die ganze norddeutsche Ebene von Belgien und Holland bis nach Russland hinein aus, ist jedoch fast überall von Tertiär- und Diluvialschichten bedeckt, aus welchen es nur hie und da inselartig emporragt. Auf weite Strecken hin tritt die Kreide in Mitteleuropa nur in dem nordöstlichen Böhmen zu Tage; kleinere Kreidegebiete erscheinen bei Maestricht, Aachen, im Teutoburger Walde und in dessen Umgebung, bei Hannover, Braunschweig, am Nordabhange des Harzes, im Ohmgebirge (nördlich von Worbis), im Elbsandsteingebirge, bei Löwenberg in Niederschlesien, auf Rügen, den dänischen Inseln und in dem südlichen Schweden. Ferner besitzen die südeuropäischen Halbinseln, sowie Mittel- und Südrussland an-

sehnliche Kreidegebiete. In Asien kennen wir sie am Kaukasus, am Libanon, in Ostindien, wo sie den oberen Indus und Satladsch begleiten; Afrika hat seine cretaceïschen Schichten in Aegypten, im Atlas und am Cap, Nordamerika an vielen Stellen der atlantischen Küstenebene, am Ostabfall der Rocky-Mountains, sowie an den Gestaden des Stillen Oceans, Südamerika endlich an der ganzen Ostseite der Anden von den La-Plata-Staaten bis Neu-Granada.

4. Die känozoische Formationsgruppe.

Das Tertiär, welches der Kreideformation folgt, vermittelt in manigfacher Hinsicht den Uebergang aus dem mesozoischen Zeitalter zur Gegenwart. Vor allen Dingen nähert sich das organische Leben Schritt für Schritt dem jetzigen. In Folge gewaltiger Revolutionen auf der Erdoberfläche erheben sich weite Meeresgebiete aus dem Schosse des Oceans, wodurch den Continenten wenigstens im allgemeinen ihre heutigen Contouren verliehen werden, und zugleich findet auch die Aufrichtung unserer Hochgebirge, z. B. der Pyrenäen, der Alpen, des Kaukasus, des Himalaya und der Cordilleren statt.

In petrographischer Beziehung herrscht eine ausserordentliche Manigfaltigkeit; denn die Ablagerungen setzen sich zusammen aus festen Conglomeraten (Nagelflue), compacten Kalken, Sandsteinen und Schiefern, sowie aus weichen Sandsteinen (Molasse), losem Sande und plastischem Thon (Tegel). Die marinen Ablagerungen sind häufig ausgezeichnet durch das Vorkommen von Salz, Gyps, Schwefel und Petroleum, die Süsswassersedimente durch den Reichthum an Braunkohlen, weshalb man der Tertiärformation auch den Namen Braunkohlenformation beigelegt hat. Hingegen fehlt es ihr, abgesehen von den Brauneisenerzen, fast gänzlich an Erzen.

Das Pflanzen- und Thierleben der Tertiärzeit trägt, verglichen mit früheren Zeitaltern, folgende charakteristischen Merkmale an sich: Die in den mesozoischen Formationen so wichtigen Cycadeen und Coniferen treten zurück, während die Palmen und angiospermen Dikotyledonen (Laubhölzer) in ungeheuren Massen erscheinen. Zum ersten Male wird auch ein wesentlicher Wechsel des Pflanzenlebens vom Aequator nach dem Pole hin bemerkbar, was auf die Entstehung klimatischer Zonen, also auf eine wesentliche Verminderung der Eigenwärme der Erde, wenigstens im Hinblick auf ihre oberflächlichen Schichten hinweist. Wahrscheinlich verwandelte sich am Ende der Tertiärzeit zum ersten Male das Wasser an den Polen und auf den Hochgebirgen zu Eis. Was ferner das Thierleben betrifft, so sterben die im mesozoischen Zeitalter so überaus zahlreichen Ammoniten und Belemniten ganz aus; die Crinoideen, Ganoiden und grossen Reptilien

verlieren an Bedeutung; dagegen erlangen die Säugethiere eine überaus hohe Wichtigkeit.

Langsam, aber beharrlich näherte sich, wie bereits erwähnt, das organische Leben innerhalb der Tertiärperiode dem der Gegenwart. Deshayes zeigte, dass in den ältesten Pariser Tertiärschichten nur 3 Procent, in denen bei Wien und Bordeaux 17 Procent und in denjenigen am Fusse des Apennin mehr als 35 Procent der jetzt noch lebenden Conchylienarten sich vorfinden. Darauf gründete Sir Charles Lyell (1832) seine Eintheilung der Tertiärformation in eocäne, miocäne und pliocäne Bildungen. Nach Lyell sind in den eocänen Bildungen (von ἠώς, Morgenröthe, und καινός, neu) 3 bis 17 Procent, in den miocänen Bildungen (von μείων, weniger, und καινός) 17 bis 35 Procent und in den pliocänen Bildungen (von πλείων, mehr, und καινός) 60 bis 80 Procent der versteinerten Conchylien mit den jetzt noch lebenden identisch. Diese Eintheilung gründet sich, wie man sieht, nur auf die fossilen Conchylien, die somit gewissermassen als Gradmesser gebraucht werden, um die Verwandtschaft der damaligen Thierwelt mit der jetzigen zu ermitteln. In Ermangelung eines besseren Eintheilungsprincips bedient man sich desselben auch jetzt noch; nur hat man nach neueren Untersuchungen jene Werthe dahin geändert, dass das Eocän noch keine, das Miocän 10 bis 40, das Pliocän 50 bis 90 Procent der jetzt noch lebenden Conchylien besitzt. Demnach hat man den Namen Eocän auf die untersten Schichten beschränkt und den oberen der früher sogenannten eocänen Bildungen den Namen Oligocän (von ὀλίγος, wenig, und καινός, neu) gegeben. Die beiden unteren Stufen der Tertiärformation (Eocän und Oligocän) fasst man auch zusammen unter dem Namen Eogen, die beiden oberen (Miocän und Pliocän) unter dem Namen Neogen. Es gilt nun, das Pflanzen- und Thierleben dieser beiden Gruppen der Tertiärzeit kurz zu kennzeichnen.

Die Eogenflora war im Vergleich zu der des früheren Zeitalters eine ausserordentlich üppige und manigfaltige. Während in der Trias- und Jurazeit die Physiognomie der Landschaften durch zwei bis drei Formengruppen bestimmt wurde, treten jetzt alle wichtigeren Ordnungen der heutigen Pflanzenwelt auf und in besonders reicher Menge die gegenwärtig tropischen und subtropischen Gewächse. Die Nadelhölzer kommen zwar in der Form von Cypressen, Pinien und Wachholder immer noch häufig vor; doch haben sie an Bedeutung viel verloren, und die Farne gehören schon fast zu den Seltenheiten. Hingegen erhalten die Laubhölzer einen ausserordentlichen Zuwachs. Mit immergrünen Eichen, Feigenbäumen, Lorbeer-, Sassafras-, Zimmetbäumen, Myrten, Magnolien, Erlen, Ahorn-, Wallnussbäumen und Birken mischen sich Fächer- und Cocospalmen, sowie steifblättrige Proteaceen von

afrikanischem oder australischem Habitus. Gerade das bunte Durcheinander von Coniferen, immergrünen Laubbäumen und Palmen, wie es sich auch in der norddeutschen Braunkohle klar zu erkennen giebt, ist ein Beweis für den tropischen Charakter der damaligen Pflanzenwelt, welche in dieser sonderbaren Mischung an den Charakter der westindischen, speciell der cubanischen Flora erinnert. Der tropische Urwald unterscheidet sich ja insbesondere durch die Manigfaltigkeit der Baumgestalten von den einförmigen nordischen Wäldern und Hainen.

Unter den niederen Thieren der Eogenzeit nimmt das Geschlecht der Nummuliten (Münzensteine) ein besonderes Interesse in Anspruch, da diese Thiere für die Eogenbildungen, namentlich in den Alpen, ein vorzügliches Leitfossil sind. Die Nummuliten sind linsen- oder scheibenförmige Körper von der Grösse eines Stecknadelkopfes bis zu der eines Thalers. Zerschlägt man sie, so erblickt man auf den Bruchflächen eine Menge spiralige Windungen, deren Bau deutlich zeigt, dass sie zu den Foraminiferen zu rechnen sind. Die Häufigkeit der Individuen übertrifft alle Vorstellungen; denn vielfach bestehen mächtige Schichtensysteme zum Theil fast ausschliesslich aus Nummuliten und zwar nicht etwa bloss auf beschränktem Raume; denn ihr Verbereitungsgebiet reicht von Spanien und Marokko auf beiden Seiten des Mittelländischen Meeres durch die ganzen Alpen und Karpathen, durch Italien, die türkisch-griechische Halbinsel, Kleinasien und Aegypten, Persien und Ostindien bis nach China und Japan, also von einem Ende der Alten Welt bis zum anderen. Die den Nummulitenkalk so häufig überlagernde sogenannte Flyschzone, welche meist von dunkel gefärbten Schiefern, Mergeln und Sandsteinen gebildet wird, ist im vollsten Gegensatz zum Nummulitenkalk überaus arm an animalischen Versteinerungen; nur vegetabilische Reste (Seetange) beherbergt sie in reicher Menge.

Der Bau der eogenen Fische stimmt im wesentlichen mit dem der gegenwärtigen Fische überein. Aehnliches darf man von den Amphibien und Reptilien behaupten. Die merkwürdigen Collectivtypen der vorigen Periode sind fast ganz verschwunden; sie finden sich nur noch in einer einzigen Ordnung: bei den Schildkröten; doch sind andrerseits von den eogenen Schildkröten nicht wenige zu den jetzt noch lebenden Gattungen zu zählen. Frösche, Schlangen, echte Eidechsen und Krokodile sind uns in grosser Zahl fossil erhalten. Vogelüberreste sind verhältnissmässig selten und weisen fast stets auf die Existenz jetzt noch vorhandener Ordnungen hin. Bemerkenswerth sind nur die im Londonthon entdeckten Ueberreste eines Vogels (Odontopteryx) mit knöchernen Zähnen. Dagegen sind die eogenen Säugethiere von hohem Interesse. Zwar weisen auch schon die vortertiären Formationen

solche auf; allein dort gehören sie nur der am tiefsten organisirten Ordnung an: den Beutelthieren. In dem eogenen Zeitalter aber begegnen wir fast allen Ordnungen der heutigen Säugethiere, welche uns jedoch durch ihre seltsamen Formen noch in hohem Grade überraschen. Weit verbreitet und artenreich sind die beiden Hufthiergattungen Palaeotherium und Anoplotherium. Das erstere, dessen Grösse zwischen der eines Hasen und eines Pferdes schwankt, ähnelt am meisten dem heutigen Tapir; nur gleichen seine Backzähne denen des Rhinoceros; auch hat es an Vorder- und Hinterfüssen je drei hufartige Zehen, während der Tapir am Vorderfusse deren vier besitzt. Das Anoplotherium zeigt in seinen Schädelumrissen eine auffallende Verwandtschaft mit dem Pferde. In der Bezahnung wie im übrigen Skeletbau vereinigt es in sich Dickhäuter-, Wiederkäuer- und Schweinsmerkmale. Namentlich gilt dies auch von den Gliedmassen. Die Beinabschnitte verhalten sich zu einander wie beim Tapir und Schwein; das Vorhandensein von nur zwei Zehen und zwei Hufen hingegen erinnert an die Wiederkäuer. Wir haben hier wieder Collectivtypen vor uns, aus denen sich später die echten Dickhäuter, Wiederkäuer und Schweine entwickelten, die ja in jener Periode noch fehlten. Dem Anoplotherium nahe stehend, aber viel schlanker gebaut als dieses ist das Xiphodon. Seine Beine sind beträchtlich länger; sein Kopf stimmt mit dem Gazellenkopf nahezu überein; doch ist sein Gebiss noch unverkennbar mit Dickhäuter-Merkmalen behaftet. Gegenüber den pflanzenfressenden Hufthieren sind die übrigen Ordnungen der Säugethiere im Eogen schwach vertreten. Die damaligen Raubthiere verrathen verwandtschaftliche Beziehungen zu unseren Hyänen, Zibethkatzen, Bären und Hunden; doch zählen sie ohne Ausnahme zu keiner dieser Gattungen; sie tragen vielmehr stets die Eigenthümlichkeiten verschiedener Familien an sich. Ausserdem hat man Reste von einigen Nagern, Insectenfressern und Fledermäusen gefunden, sowie eine Art Opossum (zu den Beutelthieren gehörig), ferner einen Affen (Caenopithecus), welcher ein Mittelglied bildet zwischen den afrikanischen Maki's und den südamerikanischen Brüllaffen, und einige seehund- und walähnliche Thiere. Im Jahre 1870 entdeckte man in Wyoming (Nordamerika) Ueberreste riesiger eogener Säugethiere: Skelete des Loxolophodon und Dinoceras. Ihr schmaler Schädel trägt drei Paare seltsam geformte Hörner; Rumpf und Beine sind elephantenartig gestaltet, während das Skelet sonst vielfache Aehnlichkeit hat mit dem des Rhinoceros und des Tapir. Man darf sie wohl als die Ahnen der jungtertiären Dinotherien, Mastodonten und der echten Elephanten betrachten.

Das jüngere oder neogene Tertiär, welches das Miocän und

Pliocän umfasst, weist einen reichen Wechsel von Salz-, Brack- und Süsswassersedimenten auf; doch haben diese nicht mehr wie die eogenen Ablagerungen Antheil an der Gebirgsbildung. Sie erfüllen vielmehr ausschliesslich niedere Becken und sind durch die Emporhebung der Hoch- und Mittelgebirge nur selten aus ihrer Ruhelage gestört worden.

Die Flora der Neogenzeit ist eine viel reichere und üppigere als die der Gegenwart; sie besitzt speciell in Europa einen subtropischen Charakter. In der Miocänzeit kommen in Europa zahlreiche Pflanzentypen vor, welche jetzt in den verschiedensten Länderräumen heimisch sind, namentlich auch solche, die jetzt zu rein amerikanischen Pflanzen geworden sind. Die Gefässkryptogamen und Nadelhölzer, obwohl noch immer von grösserer Bedeutung als in unserer Zeit, treten gegen die Blüthengewächse in den Hintergrund. Von den Monokotyledonen, zusammen 119 Arten, nehmen die Palmen, Pandanen, Liliengewächse, Gräser und Cyperaceen einen hervorragenden Rang ein. Zu den Dikotyledonen zählen sogar gegen 500 Arten. Hierher gehören die Amberbäume, Platanen, Weiden, immergrüne Eichen, Pappeln, Ulmen, Ahorn, Lorbeer-, Zimmt-, Nussbäume. Minder zahlreich waren die Proteaceen, Magnolien, Myrten und Linden; bereits reifte auch die Weintraube im Gebiete der Wetterau. Heer, dem wir die gründlichsten Arbeiten über die tertiäre Flora verdanken, hat durch Vergleichung derselben mit der jetzigen die überraschende Thatsache festgestellt, dass von den Pflanzen der Gegenwart, welche jungtertiären Gewächsen der Schweiz nahe stehen, 83 in den nördlichen, 103 in den südlichen Vereinigten Staaten, 40 im tropischen Amerika, 6 in Chile, 137 im gemässigten und südlichen Europa, 85 im warmen und äquatorialen Asien, 25 auf den atlantischen Inseln, 26 in Afrika und 21 in Neuholland gefunden werden. Europa vereinigte also in der neogenen Tertiärzeit Pflanzentypen, die jetzt nach aller Herren Länder ausgewandert sind und mit Vorliebe den Gürtel zwischen den Isothermen von 15 und 25° C. aufgesucht haben. Ueberdies ist das Pflanzenleben nicht in allen Horizonten der neogenen Tertiärzeit dasselbe. In der pliocänen Periode wächst die Zahl der Bäume mit Laubwurf; diese drängen die immergrünen bis nahezu auf die Hälfte zurück. Je weiter wir von unten nach oben emporsteigen, um so mehr verschwinden Palmen, Pandanen, Feigen und Akazien, während Ahorn und Pappeln im entsprechenden Masse sich vermehren. Wahrscheinlich war dies die Folge einer ununterbrochen fortschreitenden Temperaturabnahme.

Auch in der neogenen Zeit beanspruchen die Säugethiere in ganz besonderer Weise unser Interesse. Ist ihre Verwandtschaft mit der

eogenen Thierwelt auch nicht zu verkennen, so wird doch namentlich in Europa sehr oft jeder specifische Zusammenhang vermisst; ja, es findet sogar bezüglich der Gattungen vielfach eine totale Umwandlung statt. Bemerkenswerth ist vor allem das Auftreten grosser Rüsselthiere, welche den drei Gattungen Mastodon, Dinotherium und Elephas angehören. Die Mastodonten stimmen hinsichtlich ihrer Grösse, ihrer plumpen fünfzehigen Füsse, ihres Rüssels und Knochenbaues ziemlich mit den Elephanten der Gegenwart überein. Doch sind einige Arten nicht nur mit zwei grossen schwachgebogenen Stosszähnen im Oberkiefer ausgerüstet, sondern auch mit zwei kleinen geraden im Unterkiefer. Den eigenthümlichen zitzenförmigen Erhöhungen ihrer Backzähne verdanken sie ihren Namen. Ein Zeitgenosse des Mastodon ist das gewaltige Dinotherium, ebenfalls ein Rüsselthier mit zwei starken, nach unten gebogenen Stosszähnen im Unterkiefer, sowie mit tapirartigen Backzähnen. Das Erscheinen des eigentlichen Elephanten fällt in den Schluss der Tertiärzeit. Gleichzeitig begegnen wir einem Rhinoceros mit einem Horn (Rh. incisivus) und einem ohne Horn (Aceratherium). Das Pferd der Neogenperiode, das Hippotherium oder Hipparion, hat bereits die schlanke Gestalt unseres Pferdes; auch läuft es, wie dieses, auf einem einzigen Hufe; doch besitzt es ausserdem zwei Nebenhufe, welche dem Pferde der Gegenwart nur als kurze, verkümmerte Stummeln noch erhalten sind. Aus der Ordnung der Wiederkäuer sind zu erwähnen: geweihtragende Hirsche (Cervus), rehartige Thiere (Palaeomeryx), Kameele, Giraffen (Heladotherium), Antilopen, Gazellen, Moschusthiere, — ferner von den Raubthieren eine grosse, löwenähnliche Katze (Machairodus) und ein hundeartiges Thier (Amphicyon), — von den Nagern der Biber und das Murmelthier, — von den Affen eine Art von Semnopithecus (Schlankaffe), sowie die Gattungen Hylobates und Dryopithecus. Die beiden letzteren erinnern lebhaft an den Gibbon.

Ueberblicken wir die Säugethierfauna der Tertiärzeit, so ergiebt sich, dass sie, wenigstens an ihrem Schlusse, nicht ärmer an Formen gewesen ist als die Gegenwart. Fast die Hälfte der heutigen Gattungen trug schon damals alle generischen Merkmale ihrer Nachkommen an sich; unsere heutigen Rüsselthiere und Dickhäuter stammen ohne Ausnahme, die Wiederkäuer, Raubthiere, Nager und Affen wenigstens theilweise unmittelbar aus der Neogenzeit.

Alle Erdtheile weisen Tertiärablagerungen auf. Speciell für Europa gewinnen dieselben deshalb eine besondere Bedeutung, weil sie hier nicht bloss, wie sonst vielfach, auf die Küstengebiete beschränkt sind, sondern in Folge der reichen horizontalen Gliederung unseres Continentes auch über centrale Theile desselben sich erstrecken. Die

ganze norddeutsche Tiefebene ist ein freilich grösstentheils mit noch jüngeren Ablagerungen bedecktes Tertiärland, welches sich nach Osten durch Polen und Russland bis zum unteren Dniepr, nach Süden bis in's nördliche Böhmen, nach Westen durch Holland nach Belgien ausbreitet. Südostengland und das nördliche Frankreich bis zum Granitplateau Centralfrankreich's stellen ein grosses Tertiärgebiet dar. Ferner besteht die Garonne-, wie die Rhônetiefebene aus Niederschlägen jenes Tertiärmeeres, welches einst den Atlantischen Ocean und das Mittelländische Meer mit einander verband. Eine schmale Zone tertiärer Bildungen begleitet auch die West- und Nordseite der Alpen; sie zieht sich durch die Schweiz, das südliche Württemberg und Bayern bis Wien und tritt so mit dem grossen Tertiärland in Verbindung, zu welchem fast ganz Mähren, Ungarn und Siebenbürgen gehören. Ferner ist die Poebene völlig vom Tertiär unterteuft. Auch auf den drei grossen südeuropäischen Halbinseln nehmen die tertiären Gebilde weite Räume ein.

In Asien reicht das Tertiär durch ganz Sibirien bis an die Ostgrenze des Erdtheils, während sich eine andere grosse Tertiärzone in den südasiatischen Ländern vorfindet. In Nordamerika umsäumt das Tertiär im weiten Bogen die Alleghanies: es beginnt bei New-York, folgt bis Florida der atlantischen Küste, bis Texas der des Busens von Mexico und aufwärts bis zur Ohiomündung dem Mississippi. Auch an der pacifischen Küste begegnen wir einem Tertiärstreifen. Im Innern von Nordamerika umfassen brackische und Süsswasserablagerungen aus der Tertiärzeit weite Räume. Endlich besitzt auch Grönland sein Tertiärgebiet. In diesem heute so unwirthlichen Lande bildeten sich damals Braunkohlenflötze von 3 Meter Mächtigkeit und zwar aus Pflanzen, die mit den miocänen Formen Deutschland's und der Schweiz nahe verwandt sind.

Das Quartär ist das jüngste aller Schichtensysteme, welche die Continente bedecken. Vielfach lässt sich die Beschaffenheit der quartären Sedimente kaum von demjenigen Material unterscheiden, welches unsere Flüsse und Ströme gegenwärtig ablagern. Theilweise sind es Gerölle und Geschiebe, welche zu Conglomeraten verbunden sind, theilweise feiner Sand, Lehm und Thon. Sie erfüllen als die jüngsten geologischen Bildungen insbesondere die tieferen Thalgebiete der Ströme. Doch dürfen wir die oft ungeheuren Anhäufungen von Schutt nicht als directe Wirkung von Hochfluthen unserer heutigen Ströme ansehen; die ganz andere Oberflächenbeschaffenheit hat offenbar den damaligen Fluthen auch eine wesentlich andere Wirksamkeit verliehen. In jedem Falle ist festzuhalten, dass die marinen Ablagerungen in der Quartärzeit selten sind, während Süsswasserbildungen — und zwar bald Fluss-,

bald Seebildungen — die Oberhand gewinnen. Gewöhnlich bezeichnet man die älteren quartären Sedimente als Diluvium, die jüngeren als Alluvium und begreift unter dem letzteren die jetzt noch vor sich gehenden Neubildungen; doch ist es unmöglich, eine genaue Grenze zwischen beiden anzugeben.

Lässt sich für die diluvialen Schuttablagerungen in Flussthälern und Seebecken sehr leicht die Art ihrer Entstehung nachweisen, so gilt dies doch nicht von denjenigen diluvialen Lehmablagerungen, welche man Löss nennt. Er findet sich fast in allen mittel- und südeuropäischen Thalgebieten und ist ein gelblicher, undeutlich geschichteter Kalkschlamm, der sich mit den Fingern leicht zerreiben und nass leicht kneten lässt. Da in dem Löss nur die Gehäuse von Landschnecken (z. B. Succinea, Pupa und Helix) vorkommen, niemals aber von Schnecken, welche in Sümpfen, Flüssen oder Seen leben, so ist er sicherlich ein Landgebilde. Wahrscheinlich ist das fein geschlämmte Material durch die Flüsse bei Hochwasser abgesetzt worden; zum Theil mag es auch durch die atmosphärischen Wasser bei ihrem Herabrieseln von den Thalgehängen hinweggespült und im Thale wieder abgelagert worden sein. Nach v. Richthofen sind bei der Bildung des chinesischen Lösses auch die Staubmassen betheiligt, welche durch die sogenannten Staubwinde aus dem Westen und dem Centrum von Asien herbeigeführt werden, und die Verwesungsproducte, die zahlreiche Generationen von Steppengräsern liefern [1]). Der Lössboden ist besonders wichtig wegen seiner ausserordentlichen Fruchtbarkeit.

Das Diluvium ist nicht arm an mineralischen Schätzen. Die diluvialen Torflager gewähren den Bewohnern der Ebene das Brennmaterial; die Geröll-, Sand- und Lehmlagen werden bei dem Bau von Häusern und Strassen verwendet, und hie und da, wie am Ural, in Californien und Australien, enthalten sie eingeschwemmte Metalle (z. B. Gold, Platin, Zinn u. a.) in so reicher Menge, dass es sich lohnt, dieselben aus jenen Ablagerungen auszuwaschen.

In die Diluvialperiode fällt auch die in einem späteren Abschnitt ausführlich zu besprechende Eiszeit. Hier verdient nur hervorgehoben zu werden, dass die diluvialen Pflanzen- und Thierreste nicht auf ein wesentlich kälteres Klima zu schliessen gestatten.

Die wichtigste Fundstätte für diluviale Pflanzen, von denen übrigens nur dürftige Ueberreste vorhanden sind, ist nach Heer ein Kalktuff von Cannstadt bei Stuttgart. Man hat bisher 29 Pflanzenarten in demselben entdeckt, von denen nur drei erloschen sind (eine Eiche, eine Pappel und ein Nussbaum). Die übrigen aber, zu denen

[1]) Verhandlungen d. k. k. geolog. Reichsanstalt. Wien 1872. S. 153.

Rothtanne, Weissbirke, Haselnuss, Berg-Ahorn, Espe, Hainbuche, Ulme u. a. gehören, existiren bis auf den Buchsbaum heute noch in Württemberg. Unter allen bisher in Centraleuropa aufgefundenen diluvialen Pflanzen deuten nur zwei (Arve und Zwergbirke) auf ein wesentlich kälteres Klima zur Diluvialzeit hin.

Wiederum knüpft sich ein besonderes Interesse an die Ueberreste von Säugethieren aus jener Zeit. Lässt sich auch nicht streng darthun, dass die Gesammtheit der diluvialen Thiere schon während der Eiszeit die von Gletschern befreiten tieferen Gebiete bewohnt hat, so ist dies doch für viele erwiesen; sicher haben die meisten den Schluss der Eiszeit noch miterlebt.

Unter den 55 Arten diluvialer Säugethiere sind ein Drittel Raubthiere. Von ihnen erwähnen wir: den Höhlenbär (Ursus spelaeus), welcher sich durch Stirnbildung, Gebiss und Skeletbau von den gegenwärtigen Bärenarten unterscheidet, sie auch an Grösse übertrifft, die Höhlenhyäne (Hyaena spelaea), welche der afrikanischen gefleckten Hyäne sehr nahe steht, und den Höhlenlöwen (Felis spelaea), der mit dem heutigen Löwen fast ganz übereinstimmt. Insbesondere liegen Ueberreste der beiden erstgenannten Thiere in ungeheurer Menge in den Höhlen Süd- und Mitteleuropa's. Wildkatze und Luchs sind im Diluvium selten. Ferner erscheinen damals bereits Wolf und Fuchs (der Hund fehlte noch) und von den kleineren Raubthieren Vielfrass (Gulo), Marder, Iltis, Dachs und Fischotter.

Das bekannteste Thier der Diluvialzeit ist das Mammuth oder der Mammuthelephant (Elephas primigenius), dessen Skelet mit dem des indischen Elephanten fast völlig identisch ist; doch ist er grösser als dieser; auch sind seine Stosszähne doppelt so stark und lang als die unseres Elephanten. Ferner besass das Mammuth im völligen Gegensatz zu diesem einen Pelz von langem, rothbraunem Wollhaar, woraus sich wohl seine Verbreitung nach den arktischen Gegenden erklären lässt. Kommen doch selbst auf Neusibirien Mammuthreste in solcher Häufigkeit vor, dass das fossile Elfenbein dieser Inselgruppe zu einem wichtigen Handelsartikel werden konnte! Zu den diluvialen Thieren gehören auch das Knochennashorn (Rhinoceros tichorhinus), ein ausgestorbenes Flusspferd (Hippopotamus) und das Wildschwein. Die damaligen Wälder wurden durchstreift von dem Riesenhirsch (wahrscheinlich der „Schelch" des Nibelungenliedes), dem Edelhirsch, dem Elenthier („Elch"), dem Renthier und dem Reh. Ferner lebten der Moschusochse, der Wisent, der Ur (Bos primigenius), der Steinbock, die Gemse, sowie das Pferd.

In dieses Zeitalter fällt endlich auch das Auftreten des Menschen, wenn dies nicht etwa gar in das Ende der Tertiärzeit zurückzuverlegen

ist, wozu allerdings noch keine genügend sicheren Anhaltepunkte vorhanden sind. Dass es fossile, speciell diluviale Menschenüberreste giebt, wurde noch bis in die Mitte dieses Jahrhunderts von allen Forschern ernstlich bezweifelt; hielt man doch gerade das Auftreten des Menschen für den Anfangspunkt der geologischen Gegenwart! Aber seit der Auffindung zahlreicher menschlicher Skelettheile im Diluvium — so im Jahre 1852 in einer Höhle bei Aurignac am nördlichen Abhange der Pyrenäen, im Jahre 1856 in einer Höhle des Neanderthales bei Düsseldorf und in zahlreichen anderen Höhlen Deutschland's, Frankreich's, Belgien's und England's — ist die Existenz diluvialer Menschen sicher erwiesen. Später entdeckte man solche auch in offenen Erdschichten; zugleich bezeugen Kieseläxte und Feuersteinmesser, Geräthschaften und Küchenabfälle, welche von diluvialen Schichten überlagert sind, dass bereits im diluvialen Zeitalter der Mensch auf dem Schauplatze der Schöpfung erschienen war. So leitet dasselbe hinüber in die geologische Gegenwart, welche in der vollen und freien Entwicklung des Menschengeschlechts ihren Höhepunkt erreicht.

Wir fügen dieser kurzen Schilderung der geologischen Zeitalter zur leichteren Orientirung noch eine übersichtliche Zusammenstellung der sedimentären Bildungen mit den gewöhnlichen Bezeichnungen der Zeitalter, Formationen und Formationsabtheilungen hinzu.

Känozoische Formationsgruppe.

Quartär.	
Alluvium	
Diluvium	Höhlenbär, Höhlenhyäne, Mammuth, Knochennashorn, Riesenhirsch. Die ersten Spuren des Menschen.
Tertiärformation.	
Pliocän, Miocän } Neogen	Manigfaltige Laubhölzer. — Mastodon, Dinotherium, Hipparion, Affen.
Oligocän, Eocän } Eogen	In Europa: Echt tropische Flora. — Palaeotherium, Anoplotherium, Xiphodon. Nummuliten.

Mesozoische Formationsgruppe.

Kreideformation.	
Senon Turon Cenoman Gault Neocom	Die ersten Laubhölzer; noch viele tropische Coniferen, Cycadeen und Kryptogamen. — Viele Foraminiferen, Seeschwämme, Inoceramen, Hippuriten. Ammoniten und Belemniten sterben aus. Grosse Meereidechse Mosasaurus.

Juraformation. Weisser Jura (Malm) Brauner Jura (Dogger) Schwarzer Jura (Lias)	Kryptogamen, Coniferen und Cycadeen. — Ammoniten, Belemniten, riffbauende Korallen. Erste Knochenfische. Fischsaurier. Erste Vögel (Archaeopteryx). Beutelthiere.
Triasformation. Keuper Muschelkalk Buntsandstein	Riesige Schachtelhalme (Equisetum), Cycadeen und Nadelhölzer. – In den Alpen die ersten echten Ammoniten. Meersaurier (Nothosaurus), Froschsaurier (Labyrinthodonten). Vogelspuren (Fährten). Das älteste Säugethier, Mikrolestes, ein Beutelthier.
Paläozoische Formationsgruppe.	
Dyas oder Permische Formation. Zechsteingruppe Rothliegendes	Vierkieselte Farnstrünke, Coniferen. — Viel Productus, Spirifer; Trilobiten erlöschen. Ungleichschwänzige Schmelzschupper (heterocercale Ganoiden). Amphibien (Archegosaurus), Reptilien (Proterosaurus).
Carbonische oder Steinkohlenformation. Productive Steinkohlenformation Culm und Kohlenkalk	Grossartige Entfaltung der Kryptogamen (Farne, Calamites, Sigillaria, Lepidodendron). — Maximum der Crinoideen; unter den Brachiopoden namentlich Productus. Erste Spinnen und Insecten. Erste Amphibien (Labyrinthodonten).
Devonische Formation.	Die ersten Landpflanzen (Gefässkryptogamen). — Trilobiten nehmen ab. Cephalopoden, Brachiopoden, Deckelkorallen. Panzerganoidfische.
Silurische Formation.	Seetange. — Thiere sämmtlich wirbellos bis auf wenige Fische im oberen Silur. Trilobiten, Cephalopoden, Brachiopoden, Korallen, Crinoideen, Graptolithen.
Archäische Formationsgruppe.	
Huronische Schieferformation.	Spärliche Tange. Vielleicht Graptolithen, wenige Crinoideenreste.
Laurentische Gneissformation.	Eozoon Canadense, ein zweifelhafter Thierrest (Foraminifere).

C. Die Kohle,
ihr Abbau und ihre wirthschaftliche Bedeutung.

Anhang zu dem Abschnitt:
Der Schichtenbau der abgekühlten Erdrinde.

Unter den zahlreichen Schätzen, welche in den Tiefen unseres Planeten ruhen, ist wohl keiner — selbst Gold und Silber nicht ausgeschlossen — von so hohem Werthe wie die Kohle. Ist sie doch der Motor unserer Maschinen und somit in gewissem Sinne einer der Träger moderner Cultur! Bei der ungeheuren Bedeutung, welche die Verwendung der Kohlenkräfte in neuerer Zeit erlangt hat, ist es wohl gestattet, ihr an dieser Stelle eine kurze Betrachtung zu widmen.

Schon bei Besprechung der carbonischen Periode wurde gezeigt, dass unsere Steinkohlenflötze aus den gewaltigen Pflanzenanhäufungen jenes Zeitalters hervorgegangen sind. Doch ist das Vorkommen der Kohle überhaupt nicht auf die carbonische Formation beschränkt; sie findet sich vielmehr in allen Formationen, die ein reicheres Pflanzenleben besassen, und fehlt daher nur in der archäischen Formationsgruppe. Doch sind vielleicht auch hier die zahlreichen Graphitflötze, welche in die laurentischen Gneisse eingeschaltet sind und in ihrem Auftreten lebhaft an die jüngeren Kohlengesteine erinnern, das Resultat eines Verkohlungsprocesses, bei welchem die Holzfaser zunächst in Braunkohle, sodann in Steinkohle und Anthracit verwandelt wurde und der zuletzt mit der Graphitbildung endete.

In der Silurformation begegnen wir vereinzelten Anthracitflötzen, welche nur durch Ansammlung von Seetangen entstehen konnten, da im Silur fast alle höher organisirten Pflanzen noch vermisst werden. Aber auch die bereits höher entwickelte devonische Flora vermochte nur Steinkohlen- und Anthracitlager von ganz untergeordneter Bedeutung zu erzeugen. Erst die reiche Entfaltung des Pflanzenlebens im carbonischen Zeitalter führte eine so massenhafte Aufspeicherung von Stämmen, Zweigen und Wurzelstücken herbei, dass diese selbst zu mächtigen Steinkohlenflötzen ein genügend reiches Material lieferten. Doch gilt das Gesagte im Wesentlichen nur von dem oberen Stockwerke der Steinkohlenformation; der untere Theil derselben, der sogenannte Kohlenkalk, ist als eine rein marine Bildung ohne Kohlenflötze; nur die verschiedenen Land- oder Sumpfablagerungen des Culm, welche nahezu gleichen Alters sind wie der Kohlenkalk, enthalten in manchen Gegenden zahlreiche, jedoch meist wenig ansehnliche und daher nicht abbauwürdige Flötze.

Die wichtigsten Repräsentanten der carbonischen Vegetation sind Calamiten, Sigillarien, Lepidodendren und Farne; nur selten schliessen die Steinkohlenflötze auch Reste von Cycadeen (Noeggerathia) und Nadelhölzern (Araucarien) ein. Doch war die carbonische Flora nicht in allen Horizonten völlig dieselbe, sondern wechselte nach einem bestimmten Gesetze. Göppert verfolgte zuerst eine solche Veränderung in den schlesischen Kohlenfeldern. Später erkannte sie Geinitz auch in den sächsischen Kohlenlagern, und es gelang ihm, das carbonische Zeitalter in gewisse Perioden zu zerlegen, nach deren Ablauf die Natur immer ihr vegetabilisches Gewand mit einem anderen vertauschte [1]). Durch spätere Forschungen wurden die von Geinitz unterschiedenen Vegetationszonen fast in allen carbonischen Schichtensystemen Europa's und Amerika's wiedergefunden, und so gewährt uns diese Gliederung ein treffliches Mittel, das Alter einer der Steinkohlenformation angehörigen Kohlenablagerung näher zu bestimmen.

In dem Culm walten neben einigen Calamiten und Farnen gewisse baumartige Bärlappe oder Lykopodiaceen, vertreten durch die Gattungen Lepidodendron und Knorria, derart vor, dass der Name Lykopodiaceen- oder Sagenarien-Zone (der letztere Name nach der am häufigsten darin vorkommenden Pflanze Sagenaria Veltheimiana Sternberg) völlig gerechtfertigt ist. In der nächsten Schicht, welche bereits ein Theil der productiven Steinkohlenformation ist, nehmen die Lykopodiaceen einen ebenso untergeordneten Rang ein wie die Calamiten und Farne; dagegen beherrschen die Sigillarien in so auffallender Weise die damalige Vegetation, dass diese Zone mit Recht Sigillarien-Zone heisst. Sie birgt die zahlreichsten und mächtigsten Steinkohlenflötze. Ueber dem Gürtel der Sigillarien liegt ein anderer, in welchem die Calamiten vorwalten, die sogenannte Calamitenzone. In den obersten Schichten der Steinkohlenformation endlich verschwinden zwar die Sigillarien und Lepidodendren nicht ganz, wie denn auch die Calamiten noch eine grosse Individuenzahl aufweisen; aber die Farne sind durch Individuen- und Artenreichthum in solcher Weise ausgezeichnet, dass sie für die Zusammensetzung dieser Flötze von besonderer Bedeutung sind, weshalb Geinitz diese Etage die Zone der Farne nennt.

In dem dyassischen Zeitalter bemerken wir bereits eine durchgreifende Veränderung des Pflanzenlebens. Die Lepidodendren und Sigillarien sterben aus; auch die Calamiten und Farne wuchern nicht mehr so üppig wie früher, während Coniferen und Cycadeen die Oberhand gewinnen. In dieser Periode entstanden nur wenige nutzbare

[1]) H. B. Geinitz, Versteinerungen der Steinkohlenformation in Sachsen. Leipzig 1855. Vgl. H. B. Geinitz, H. Fleck und E. Hartig, Die Steinkohlen Deutschland's und anderer Länder Europa's. München 1865. Bd. I, S. 6.

Kohlenlager. Schwache, selten abbauwürdige Kohlenflötze enthalten die unteren dyassischen Schichten; man gebraucht für diese Kohle den Namen „Kohle des Rothliegenden“ oder „Permian Coal“. Die obere Dyas, welcher das obere Rothliegende und die Zechsteingruppe angehören, entbehrt der Kohle gänzlich. Entwickelten sich auch am Ende des unteren dyassischen Zeitalters riesige Nadelhölzer (Araucarien), mächtige Baumfarne (Psaronius und Tubicaulis), Cycadeen und Palmen, so lieferten diese doch keine Kohlen, sondern wurden durch eingedrungene Kieselgallert versteinert.

In der mesozoischen Formationsgruppe erreichten die Cycadeen ihren Höhepunkt; sie haben insbesondere an der Bildung triassischer und jurassischer Kohlen einen so hervorragenden Antheil, dass für diese in den meisten Fällen der Name „Cycadeen-Kohle“ ganz zutreffend ist. In der Trias begegnen wir zwischen dem Muschelkalk und Keuper einer lettenreichen, durch Eisenkies vielfach verunreinigten Kohle, der „Lettenkohle“, welche vorzugsweise aus Arten der Cycadeen-Gattung Pterophyllum und Riesenschafthalmen (Equisetum arenaceum) hervorgegangen ist. Als Brennmaterial ist sie von ganz untergeordnetem Werthe; wohl aber eignet sie sich zur Gewinnung von Alaun oder Eisenvitriol.

Die Juraformation besitzt fast in allen Horizonten Kohlenlager und zwar viel nutzbarere als die Trias; insbesondere sind die „Liaskohle“ (in dem Lias) und „Wealdenkohle“ (an der oberen Grenze der Juraformation) hervorzuheben. Die letztere führt bereits in die Kreidezeit hinüber, in deren untersten Schichten sie sich ebenfalls vorfindet. Die Wealdenkohle erweist sich namentlich im nordwestlichen Deutschland (Deister, Bückeburg) und im südlichen England als werthvoll. Im Uebrigen ist die „Quaderkohle“, d. i. die Kohle in den mittleren und oberen Stockwerken der Kreideformation, so lettenreich, dass sich ihre Ausbeute nur an wenigen Stellen lohnt.

Weit reichlicher sorgte die tertiäre Zeit in unserer Heimath für Aufspeicherung von Brennstoffen. Doch war das Material mittlerweile ein ganz anderes geworden; denn neben den Coniferen und Palmen gelangten vor allem die blüthentragenden Laubpflanzen oder Dikotyledonen, welche bereits in der mesozoischen Zeit mehr und mehr an Bedeutung gewonnen hatten, zur Herrschaft. Während ferner in den paläozoischen wie mesozoischen Formationen Schwarzkohlen vorwalten, in denen das organische Gefüge der Pflanzen fast ganz verwischt erscheint, treten im känozoischen Zeitalter die Braunkohlen auf, deren vegetabilischer Ursprung sich auch dem Laien beim ersten Anblick sofort verräth. Ihrer Abstammung nach kann man Nadelholz- und Laubholzkohle unterscheiden.

In der Gegenwart endlich wird durch die Torflager noch immer neuer Brennstoff abgesondert. Der Torf ist nur selten von Geröllschichten und Erdmassen überlagert; in der Regel breitet sich bloss die ihn noch fortbildende Pflanzendecke über ihm aus. Manche Torfmoore bildeten sich bereits in der Diluvialzeit, die meisten jedoch in der Alluvialzeit. Torf entsteht nur in stagnirendem Wasser und in diesem erst dann, wenn sich am Boden des Beckens eine das Wasser nicht durchlassende Schicht aus den Schalen kleiner Wasserthiere und den Kieselskeleten der Diatomaceen abgelagert hat (Seekreide der Schweiz). Eine weitere Vorbedingung ist die, dass sich im Wasser Humussäure entwickelt und die entwickelte nicht wieder durch einen starken Mineralgehalt des zufliessenden Wassers neutralisirt wird. Endlich sind die zur Torfbildung geeigneten Pflanzen nothwendig: Moose, das Wurzelwerk und die Abfälle von Sumpf- und Wasserpflanzen (namentlich von Sumpf- und Riedgräsern), zu denen sich öfter auch Holzpflanzen gesellen [1]). Der Torf ist demnach ein Aggregat von verwesenden und vermodernden Pflanzen, die sich in den manigfachsten Stadien des an ihnen sich vollziehenden Vermoderungsprocesses befinden, weshalb sich in mächtigen Torflagern auch alle Uebergänge von der frischen Pflanzenfaser bis zum Pechtorf verfolgen lassen.

Warum die Kohlen der verschiedenen geologischen Zeitalter hinsichtlich ihrer chemischen Zusammensetzung und in Folge dessen auch in ihrem Werthe als Brennmaterial so wesentlich differiren, erhellt aus folgender Betrachtung. Die reine Holzfaser, welche den wichtigsten Theil des Pflanzenzellgewebes ausmacht, enthält 52,65 Procent Kohlenstoff, 5,25 Pr. Wasserstoff und 42,10 Pr. Sauerstoff. Hat die freie Luft ungehinderten Zutritt zu den Pflanzenüberresten, so verbindet sich der Sauerstoff der Atmosphäre mit einem Theile ihres Wasserstoffes und entzieht diesem in Form von Wasser den hierbei sich ausscheidenden Sauerstoff; theilweise verbindet er sich mit Kohlenstoff und entweicht als Kohlensäure. Bei diesem Process, den wir als Verwesung bezeichnen und der im Grunde nichts anderes als eine langsame Verbrennung ist, verschwindet die Pflanze, abgesehen von ihrem Gehalte an unorganischer Materie, vollständig; der kohlenstoffreichere Rest ist der Humus. Ist jedoch die abgestorbene Pflanze ohne Berührung mit der Luft, so geht die Zersetzung, die wir dann Vermoderung (Verkohlung) nennen, viel langsamer und in wesentlich anderer Weise vor sich. Ein Theil des Kohlenstoffes bildet mit Sauerstoff Kohlensäure (= 1 Gewichtstheil Kohlenstoff und $2^2/_3$ Gew. Sauerstoff), ein anderer mit Wasserstoff Sumpfgas oder Grubengas (3 Ge-

[1]) Oswald Heer, Die Urwelt der Schweiz. Zürich 1865. S. 27.

wichtstheile Kohlenstoff und 1 Gew. Wasserstoff), welche beide als Gase sich verflüchtigen, sowie endlich ein Theil des Wasserstoffes mit Sauerstoff Wasser (1 Gewichtstheil Wasserstoff und 8 Gew. Sauerstoff); auch dieses tritt aus der Verbindung aus. Somit ergiebt sich als Endproduct der Vermoderung eine Abnahme des Wasser- und Sauerstoffes, hingegen eine relative Zunahme des Kohlenstoffes. Besonders wichtig ist hierbei, dass sich die abgestorbene Pflanze nicht völlig auflöst, sondern die pflanzlichen Elemente sich unter einander vereinigen. Je länger der erwähnte Process anhält, desto mehr vermindern sich natürlich Wasser- und Sauerstoff, während sich gleichzeitig der relative Kohlenstoffgehalt vermehrt.

Die aus unseren Kohlenlagern noch immer hervorbrechenden Gase belehren uns, dass dieser Vorgang noch jetzt stetig fortdauert und fortdauern wird, bis die Pflanzenmasse in reinen Kohlenstoff umgewandelt ist. Es darf uns nicht wundern, dass dieses letzte Ziel in den meisten Fällen noch nicht erreicht ist, obwohl Hunderttausende und wahrscheinlich sogar Millionen von Jahren verflossen sind, seitdem z. B. die carbonischen Wälder ihren Untergang gefunden haben; denn bei der ansehnlichen Tiefe der meisten Kohlenlager gelingt es den erzeugten Gasen nicht so leicht zu entweichen. Da, wo locale Umstände dies begünstigen, kann der Verkohlungsprocess örtlich ausserordentlich beschleunigt werden. Es geschieht dies namentlich durch Zerklüftung und Zerstückelung der kohlenführenden Schichten, sowie durch hohe Temperaturen; der letztere Factor erweist sich namentlich in denjenigen Kohlengebieten wirksam, in deren Nähe gluthflüssige Massen die Schichten durchsetzen. Im allgemeinen aber wächst der Kohlenstoffgehalt mit dem Alter der Kohlengesteine; die Länge der geologischen Zeiträume, während welcher die Pflanzenreste in den Tiefen der Erde liegen, ist demnach in erster Linie entscheidend für ihren Kohlenstoffgehalt. Dies wird durch die nachstehende Tabelle [1]) auf's Deutlichste bewiesen.

Geologisches Zeitalter.	Kohlengestein.	Zusammensetzung in 100 Theilen nach Abzug der Asche.		
		Kohlenstoff.	Wasserstoff.	Sauerstoff u. Stickstoff.
Jetztzeit.	(Holzfaser)	52,65	5,25	42,10
Diluvium.	Torf aus Irland	60,02	5,88	34,10
Tertiär.	Braunkohle von Cöln . .	66,96	5,25	27,76
	Braunkohle vom Meissner	72,00	4,93	23,07
	Erdige Braunkohle von Dax	74,20	5,89	19,90

[1]) Herm. Credner, Elemente der Geologie. 3. Aufl. Leipzig 1876. S. 260.

Geologisches Zeitalter.	Kohlengestein.	Zusammensetzung in 100 Theilen nach Abzug der Asche.		
		Kohlenstoff.	Wasserstoff.	Sauerstoff u. Stickstoff.
Carbonische Periode.	Bituminöse Steinkohle von Saarbrücken	81,62	3,30	14,50
	Cannelkohle von Wigan .	85,81	5,85	8,34
	Hartleykohle von Newcastle	88,42	5,61	5,97
	Bituminöse Steinkohle von Eschweiler	89,16	3,21	6,45
Carbonische, devonische. silurische Periode.	Anthracit	94	3	3
Huronische und laurentische Periode.	Graphit	100	0	0

Die Umwandlung der Pflanzenstoffe in Kohle beruht nach alledem auf einer allmählich fortschreitenden Concentrirung desjenigen Kohlenstoffes, welchen die Pflanzensubstanz von Anfang an besass; Torf, Braunkohle, Steinkohle und Anthracit aber bezeichnen uns nichts anderes als verschiedene Stadien in diesem Processe. Daher kommt es auch, dass Torf und Braunkohle ebensowohl wie Braunkohle und Steinkohle durch alle denkbaren Zwischenstufen mit einander verbunden sind und dass es in vielen Fällen unmöglich ist, sie streng von einander zu sondern.

Leider ist die Ausbeute der Kohlen mit manigfachen Gefahren verknüpft. Als die schlimmsten Feinde des Bergmannes gelten die schlagenden Wetter (die fire-damps der Engländer). Aus den Kohlenflötzen brechen nämlich beständig Kohlenwasserstoffgase hervor, welche je nach ihrem Verhältnisse zur atmosphärischen Luft mehr oder minder gefährlich sind. Vermischen sie sich in dem Verhältniss 1 : 30 mit der Grubenluft, so zeigt sich um die Flamme des Grubenlichtes eine schwach bläuliche Färbung; nimmt das Kohlenwasserstoffgas zur Grubenluft das Verhältniss von 1 : 15 an, so wird es brennbar und entzündet sich an der Flamme eines Grubenlichtes, welches ein unvorsichtiger Bergmann geöffnet hat. Am verheerendsten sind die Verpuffungen des Gases, wenn das Verhältniss desselben zur Luft 1 : 9 oder 1 : 8 ist; denn bei 1 : 5 und 1 : 4 ist das Gasgemenge nicht mehr brennbar. In solchem Falle erlöscht das Grubenlicht aus Mangel an Sauerstoff; aber aus gleichem Grunde wirken dann die Wetter erstickend. Häufig erfolgen Gasverpuffungen schlagender Wetter nach einem raschen Falle des Barometers. Sinkt nämlich

dieses, so findet eine Erniedrigung des Luftdruckes statt, und die Kohlenwasserstoffgase dringen mit grösserer Leichtigkeit durch die freieren Klüfte der Kohlenflötze. Bricht Kohlenwasserstoffgas in einer Grube hervor, so ist es noch nicht nothwendig, dass das Wetter von einer Explosion begleitet ist, sondern es muss zuvor erst eine Entzündung eintreten, welche hervorgerufen werden kann durch einen Pulverschuss bei den Sprengarbeiten oder durch das Glühendwerden des Drahtnetzes an der Sicherheitslampe, wenn sich Russ abgeschieden hat, oder durch unvorsichtiges Oeffnen der Sicherheitslampe, sowie durch Verletzung ihrer Gläser.

Entströmen Kohlenoxydgase den Kohlenlagern, so redet der Bergmann von brandigen Wettern. Dieselben verbreiten einen widerlichen Geruch, führen, wenn sie eingeathmet werden, den Tod des Erstickens herbei und sind ebenfalls entzündbar, wenn sie sich in den entsprechenden Verhältnissen mit der Grubenluft mischen [1]).

Das Leben des Bergmannes erscheint also ungewöhnlich gefährdet. Wer nicht beim An- und Ausfahren aus den Gruben verunglückt, läuft Gefahr, unter den einstürzenden Kohlen und Gesteinsmassen begraben zu werden, und wer dieser Gefahr entgeht, begegnet vielleicht einem bösen Wetter.

Die Statistik gewährt uns indessen viel Beruhigendes. In den fünf Jahren 1859 bis 1863 verunglückten in den sächsischen Kohlengruben von je 1000 Arbeitern jährlich 2,72, 2,86, 2,86, 2,53, 3,28. Die sächsische Statistik lehrt uns ausserdem, dass damals von 100 Unglücksfällen 48,3 durch eigene, 2,3 durch Verschuldung dritter Personen, 12,8 durch zweifelhafte Ursachen, 34,9 ohne eigene, 1,7 ohne äussere Veranlassung und keine durch Schuld der Grubenverwaltung eintraten. Die durchschnittliche procentale Vertheilung der Verunglückungen nach den fünf Hauptclassen der Ursachen zeigt die folgende Uebersicht. Es kommen von allen Verunglückungen auf den sächsischen Steinkohlenwerken in den Jahren 1858—1863 [2]):

auf Steinfall	46,3	Procent,
auf Unfälle in Schächten	26,6	„
auf böse Wetter . . .	10,3	„
auf Maschinen	11,3	„
auf sonstige Ursachen .	5,5	„
	100,0	Procent.

Wie man auf den ersten Blick sieht, wird nur ein verhältniss-

[1]) H. B. Geinitz, H. Fleck und E. Hartig, Die Steinkohlen Deutschland's und anderer Länder Europa's. Bd. II, S. 156 ff.

[2]) H. B. Geinitz, H. Fleck und E. Hartig, l. c. Bd. II, S. 162.

mässig kleiner Theil der Unglücksfälle durch böse Wetter, der grösste Theil hingegen durch Stein- und Kohlenfall herbeigeführt — eine Thatsache, die auch in anderen Ländern, so in Preussen, England und Schottland, Frankreich und Belgien, durch genaue statistische Aufzeichnungen festgestellt worden ist. Unter den sogenannten „Steinfällen" versteht man den Einsturz des Hangenden oder des Dachgebirges auf die Sohle des ausgebauten Flötzes. Zur Abwendung dieser Gefahr werden allerdings die Gruben verzimmert, d. h. die Decke des Flötzes wird durch Holzstempel gestützt; aber selbst bei grösster Vorsicht ist es geschehen, dass das Dachgebirge 48—54 Centimeter starke Stempel mit kanonenschussähnlichen Schlägen zusammengedrückt, geknickt oder umgeworfen und die in der Grube arbeitende Mannschaft erschlagen oder verstümmelt hat. In den Jahren 1858 bis 1863 kam in den sächsischen Revieren auf eine Verunglückung mit tödtlichem Ausgang im Durchschnitt eine Production von 918,609 Centnern. Nehmen wir an, dass die Verunglückten durchschnittlich noch 30 Jahre gelebt hätten, so könnten wir sagen, dass bei jedem Centner Kohle, den wir verbrennen, ein Bergmannsleben um mehr als 17 Minuten verkürzt wird.

Ein glücklicher Umstand in den Lagerungsverhältnissen der Kohle ist ohne Zweifel der, dass sie meistens in mässigen Tiefen vorkommt. Würde sie in der normalen geologischen Tiefe liegen, d. h. hätte sich darüber die vollkommene Reihe aller jüngeren Formationen abgelagert, so wäre die Kohle, insbesondere die werthvollere, der menschlichen Benutzung entrückt. Würde sie aber unmittelbar unter der Oberfläche sich vorfinden, so würde eine sündhafte Verwüstung diese Naturschätze längst schon erschöpft haben. Dadurch dass bei vorrückender Ausbeute die Förderung immer schwieriger wird, hat die Natur dafür gesorgt, dass die Menschen bei Zeiten anfangen, haushälterisch zu werden.

Erst der fühlbar werdende Holzmangel, sowie der bedeutend wachsende Consum von Brennstoffen seit der Verwendung des Dampfes zum Betrieb der Maschinen liess den Abbau der Kohle, namentlich der Steinkohle, einträglich erscheinen. Daher war sie bei den Völkern des Alterthums nur wenig bekannt und wurde noch seltener von ihnen gebraucht. Die Chinesen brannten allerdings schon im Mittelalter Kohlen; wenigstens berichtet uns Marco Polo, dass er in den Häusern von Khanbalu Steinkohlen brennen sah, was ihm ganz neu war; die Inder hingegen benützten trotz der reichen Kohlenlager ihres Landes bis zur Ankunft der Europäer noch keine. Im alten Griechenland und Italien wurden wohl wenig Kohlen, sicher aber keine Steinkohlen verwendet, und wenn schon Theophrastus, der im 4. Jahrhundert v. Chr. lebte, die Kohlen als ein von den Schmieden und

Erzgiessern verwerthetes Brennmaterial kennt, welches angeblich aus Ligurien und der griechischen Landschaft Elis stammte, so darf man hierbei wohl eher an Braunkohlen als an Steinkohlen denken, da die Lagerungsverhältnisse jener leichter eine frühere Entdeckung gestatteten. Seit 833 hat man Kunde von den englischen Kohlenlagern; im Jahre 1240 wurden die bei Newcastle und 1291 die in Wales und Schottland bergmännisch erschlossen. Seit dem Anfang des 17. Jahrhunderts entfaltete sich der französische Kohlenbergbau bei St. Etienne. Unter den deutschen Kohlenlagern wurden die des Zwickauer Kohlenbassins zuerst (seit dem 10. Jahrhundert n. Chr.) ausgebeutet. Die Metallarbeiter Zwickau's, welche im Mittelalter eine wichtige Rolle spielten und gegen Mitte des 14. Jahrhunderts ihre Werkstätten unterhalb der Stadtmauer hatten, wurden im Jahre 1348 verwarnt, mit Steinkohle zu feuern, da durch ihren Rauch die Luft verpestet werde[1]. Indess war die damalige Kohlenproduction im Vergleich zu der jetzigen äusserst geringfügig; jene kostbaren fossilen Schätze sollten noch lange in verborgenen Tiefen ruhen, bis die Erfindung der Dampfmaschine ihre hohe Bedeutung für die Entwicklung von Industrie und Handel klar erkennen liess.

Schon in der relativ kurzen Zeit von kaum 100 Jahren hat der Kohlenverbrauch so ungeheure Dimensionen angenommen, dass man, wenigstens in Europa, auf eine in nicht allzuferner Zukunft liegende Erschöpfung der Kohlenvorräthe gefasst sein muss. Das vielfach ausgesprochene Wort, dass die Cultur mit dem Laufe der Sonne von Ost nach West, von der östlichen nach der westlichen Hemisphäre schreite, wird sich auch insofern als wahr erweisen, als die Kohlenschätze Amerika's diesem Erdtheile einst in noch viel höherem Grade, als dies heute schon der Fall ist, die reichsten Mittel zur Hebung seiner Industrie, seiner Civilisation und Machtstellung an die Hand geben und dies zu einer Zeit, wo in Europa die letzten Reste einer uns aus früheren geologischen Zeitaltern überkommenen Erbschaft zu Ende gehen. Vielleicht sind wir dieser Zeit sogar schon ziemlich nahe. Sir William Armstrong hat in einer im Jahre 1863 zur Eröffnung der Versammlung britischer Naturforscher gehaltenen Rede auf die drohende Gefahr aufmerksam gemacht. Die Kohlenförderung in Grossbritannien hatte sich damals seit dem Anfang des Jahrhunderts verzehnfacht, seit dem Jahre 1840 verdreifacht. Im Jahre 1861 erreichte sie die ungeheure Höhe von 86 Millionen Tonnen, und zwar war sie damals in den letzten acht Jahren (von 1853—1861) im Jahresdurchschnitt um je $2^{3}/_{4}$ Millionen Tonnen gewachsen. Bis zu einer Tiefe von

[1]) H. B. Geinitz, H. Fleck und E. Hartig, l. c. Bd. II, S. 3. 4.

1300 Metern wird wohl schwerlich ein Kohlenschacht getrieben werden; denn im tiefsten Kohlenschacht, in der Nähe von Newcastle bei Monkwearmouth, welcher in eine Tiefe von 600 Metern unter dem Boden und beinahe ebenso tief unter die See hinabführt, herrscht schon eine Temperatur von 84° F. (29° C.). Nach Armstrong's Berechnung würden bei einem Verbrauch von 86 Millionen Tonnen die britischen Flötze (ihre Abbaufähigkeit bis 1300 Meter Tiefe vorausgesetzt, welches Mass für die meisten Lager zu hoch gegriffen sein dürfte,) in 930 Jahren, bei einer jährlichen Steigerung desselben um $2^3/_4$ Millionen Tonnen aber schon in 212 Jahren erschöpft sein. In der That hat sich seitdem sowohl in Grossbritannien wie in den übrigen europäischen Ländern die Kohlenproduction stetig vergrössert. In England ist sie in dem Zeitraume von 1862 bis 1875 von 86 Millionen auf 125 Millionen Tonnen gestiegen, im Gebiet des deutschen Zollvereins von 20,6 Millionen auf 40 Mill. T., in Europa überhaupt von 128 Mill. T. auf 205 Mill. Tonnen. Hat nun auch in den letzten Jahren in Folge der geschäftlichen Krisis, unter welcher alle Industriestaaten der Erde mehr oder minder leiden, der Kohlenconsum nicht in derselben Progression wie früher zugenommen und dürfen wir auch den Armstrong'schen Berechnungen nicht unbedingten Glauben schenken, da die cubischen Massen der Kohlenflötze sich zur Zeit unmöglich mit Sicherheit feststellen lassen, so bedarf es doch keines besonderen Scharfblickes, schon jetzt sagen zu können, dass in nicht allzuferner Zukunft jene Quelle reicher Wärmekräfte versiegt, und wohl mögen wir im Interesse künftiger Geschlechter fragen: was dann? [1])

Zur Beruhigung der Gemüther erinnert man gewöhnlich an die Kohlenschätze der Vereinigten Staaten, neben denen allerdings England's Flötze völlig verschwinden. Wenn man nämlich den Kohlenreichthum Belgien's (36,000 Mill. Tonnen) gleich 1 setzt, so beträgt der Kohlenreichthum Frankreich's $1^5/_6$, der britische etwas über 5, der europäische insgesammt $8^3/_4$, genau soviel wie der Vorrath in dem Staate Pennsylvanien, während die fossilen Schätze der amerikanischen Union 111 mal so gross sind als die belgischen. Auch China würde in dieser Hinsicht ein Land der Zukunft sein. Nach v. Richthofen's Untersuchungen übertreffen die dortigen Kohlenreviere selbst die nordamerikanischen. Das von Shansi allein ist dem von Pennsylvanien gleichzustellen. Liegt nun auch in dem Hinweis auf diese Reichthümer

[1]) In den Jahren 1866—1871 wurden auf Gladstone's Veranlassung die gewinnbaren Steinkohlenvorräthe Grossbritannien's mit grosser Genauigkeit untersucht, und es ergab sich, dass dieselben nur noch 400 Jahre den Bedarf zu decken im Stande wären. Ausland 1876, S. 655.

ein gewisser Trost, so darf man doch nicht zu hohe Erwartungen von den Kohlenschätzen fremder Länder hegen; denn die allzufernen Kohlen werden durch den Transport zu theuer, als dass sie wirklichen Nutzen bringen könnten. Jedes Land zieht darum im wesentlichen nur von seinen eigenen Kohlenschätzen Vortheil.

Sir William Armstrong zeigte in dem oben erwähnten Vortrage, dass die drohende Gefahr durch nichts anderes in ferne Zeiten hinausgerückt werden könne als durch weise Sparsamkeit; hieran zu erinnern sei um so mehr nöthig, als jetzt eine gedankenlose Verschwendung herrsche. In England wird der vierte Theil der geförderten Kohlenmasse zum Betrieb von Maschinen verwendet. Nun genügt bei den neuesten und besten Maschinen die Kraft, die sich aus einem Pfund Kohle durch Benützung ihrer Wärmeeffecte gewinnen lässt, um eine Million Pfunde $^1/_3$ Meter hoch zu heben. Durch theoretische Untersuchungen ist jedoch ermittelt worden, dass die mechanische Kraft, die in einem Pfund Kohle eingeschlossen ist, ausreichen müsste, um das Zehnfache jenes Gewichtes $^1/_3$ Meter hoch zu heben. Daraus ergiebt sich also, dass in den besten Dampfmaschinen noch immer neun Zehntel des Kohlenverbrauches vergeudet werden; allein man kann annehmen, dass im Durchschnitt die mittelst der Maschinen erzielten Krafteffecte nur den dreissigsten Theil dessen betragen, was sich zufolge theoretischer Anforderungen bei gleichem Kohlenverbrauch erzielen lassen muss.

Einer ebenso grossen Verschwendung machen sich die Metallhütten schuldig. Wo wir überhaupt dicke Rauchwolken aufsteigen sehen, da findet eine sträfliche Verschwendung von Brennstoffen statt; denn Rauch ist nichts anderes als Kohlenstoff in Staubform, der, wenn die Verbrennung vollkommen gewesen wäre, ebenfalls hätte oxydirt werden müssen. So geschieht es, dass im Rauch zwei Drittel des Feuerungsmaterials ungenützt in die Luft gehen und nur dazu dienen, die nahe gelegenen Städte zu verpesten. Sir William Armstrong hofft, dass in Zukunft eine bessere Ausnützung des Kohlenstoffes bei Maschinen und Hütten durch Siemens' Gasregenerationsöfen und durch den Regenerator in Stirling's Luftmaschine herbeigeführt werde.

Aber nicht bloss in Fabriken wird eine sinnlose Verschwendung mit Kohlen getrieben, sondern auch in den Wohnungen, insbesondere in England durch die offenen Kamine. Man rechnet, dass in Grossbritannien auf den Kopf zur häuslichen Erwärmung eine Tonne (= 20 Centner) Kohlen verbraucht wird. In einem offenen Kamin hat man fünfmal soviel Kohlen zur Erwärmung eines Zimmers nöthig als in einem gut gebauten und geschlossenen Ofen. Wenn also 33 Millionen Tonnen Kohlen jährlich in den britischen Kaminen ver-

zehrt werden, so dienen 26 Millionen darunter nicht zur Erwärmung, sondern nur dem Luxus, ein helles Feuer im Zimmer zu sehen. [1])

Das gegenwärtige Geschlecht tröstet sich sonderbarer Weise damit, dass bis zum gänzlichen Aufhören der Kohlen irgend ein Surrogat für sie gefunden sein werde. Man denkt dabei an die Elektricität oder an eine chemische Zerlegung des Wassers, um den brennbaren Wasserstoff zu gewinnen, oder an Aehnliches. Man weist auf die manigfachen Entdeckungen und Erfindungen hin, die menschlicher Scharfsinn in unserer Zeit gemacht hat, und meint, dass, wie unsere Vorfahren nicht die mindeste Ahnung von solchen Errungenschaften hatten, auch wir von gewissen Naturkräften noch nichts wissen, die später enthüllt und für menschliche Zwecke dienstbar gemacht werden. Man springt daher rasch zu der Schlussfolgerung über, dass die Kraft, welche wir jetzt in der Steinkohle besitzen, uns künftig aus einer anderen Quelle zukommen werde. Allein alle die grossen Fortschritte der Neuzeit bestehen nicht in der Entdeckung einer neuen Kraft, sondern einfach in der neuen Anwendung von Kräften, die schon vorher bekannt waren. Unzweifelhaft ist der Gedanke an Auffindung eines Surrogates für Steinkohle oder ein ähnliches Brennmaterial, welches virtuell angehäufte Sonnenkraft ist, ein reines Hirngespinst.

Da die Kohlen einerseits unersetzbar sind, andrerseits aber auf ihnen zu einem nicht unwesentlichen Theile die Grösse und Leistungsfähigkeit einer Industrie treibenden Nation beruht, so ist Sparsamkeit hier dringend geboten, und diese könnte ausser auf den bereits angedeuteten Wegen auch geübt werden durch grössere Ausnützung anderer uns zu Gebote stehender Sonnenkräfte: nämlich der Wind- und Wasserströmungen. Die Bewegung des Windes wird durch die Sonnenwärme hervorgerufen; Luftströmungen aber heben die Gewässer zu Wolken empor und erzeugen so auch die Bewegungen unserer Bäche und Flüsse. Der eigentliche Kraftquell ist demnach in beiden Fällen die Sonne. Wenn einmal die Kohlen in Europa zur Neige gehen oder nicht mehr wohlfeile Maschinenkräfte liefern, dann werden jene Naturkräfte, d. i. die Winde und die rauschenden Gebirgswasser, die jetzt verhältnissmässig wenig beachtet werden, den höchsten Werth erlangen Auch Ebbe und Fluth sind Kräfte, welche an manchen Orten recht wohl im Stande wären, Maschinen in steter Thätigkeit zu erhalten. Die bisher in dieser Hinsicht angestellten Versuche haben leider noch keinen günstigen Erfolg gehabt; sie scheiterten insbesondere an dem Umstande, dass die ausgegrabenen Becken versandeten.

So eröffnet sich im Hinblick auf zukünftige Geschlechter keine

[1]) Vgl. O. Peschel's Bericht über Sir William Armstrong's Rede im Ausland 1863, S. 906 f.

erfreuliche Perspective. Wie in den Werkstätten, so wird auch im häuslichen Leben in kommenden Jahrhunderten ein tief eingreifender Wechsel sich vollziehen. Tritt einst ein empfindsamer Kohlenmangel ein, so wird man sich unter dem eisernen Zwange der Nothwendigkeit jedenfalls an andere Zimmertemperaturen gewöhnen müssen, wie dies auf Island bereits der Fall ist, wo sich nur in den Häusern weniger Reichen an den Küstenplätzen Oefen befinden [1]). Vielleicht gelingt es dann, durch ausgedehnte Forstcultur die Schäden wenigstens erträglich zu machen, welche einige um die Zukunft wenig besorgte Generationen durch unbedachtes Handeln viel zu früh herbeigeführt haben.

[1]) Gustav Georg Winkler, Island. Seine Bewohner, Landesbildung und vulcanische Natur. Braunschweig 1861. S. 111.

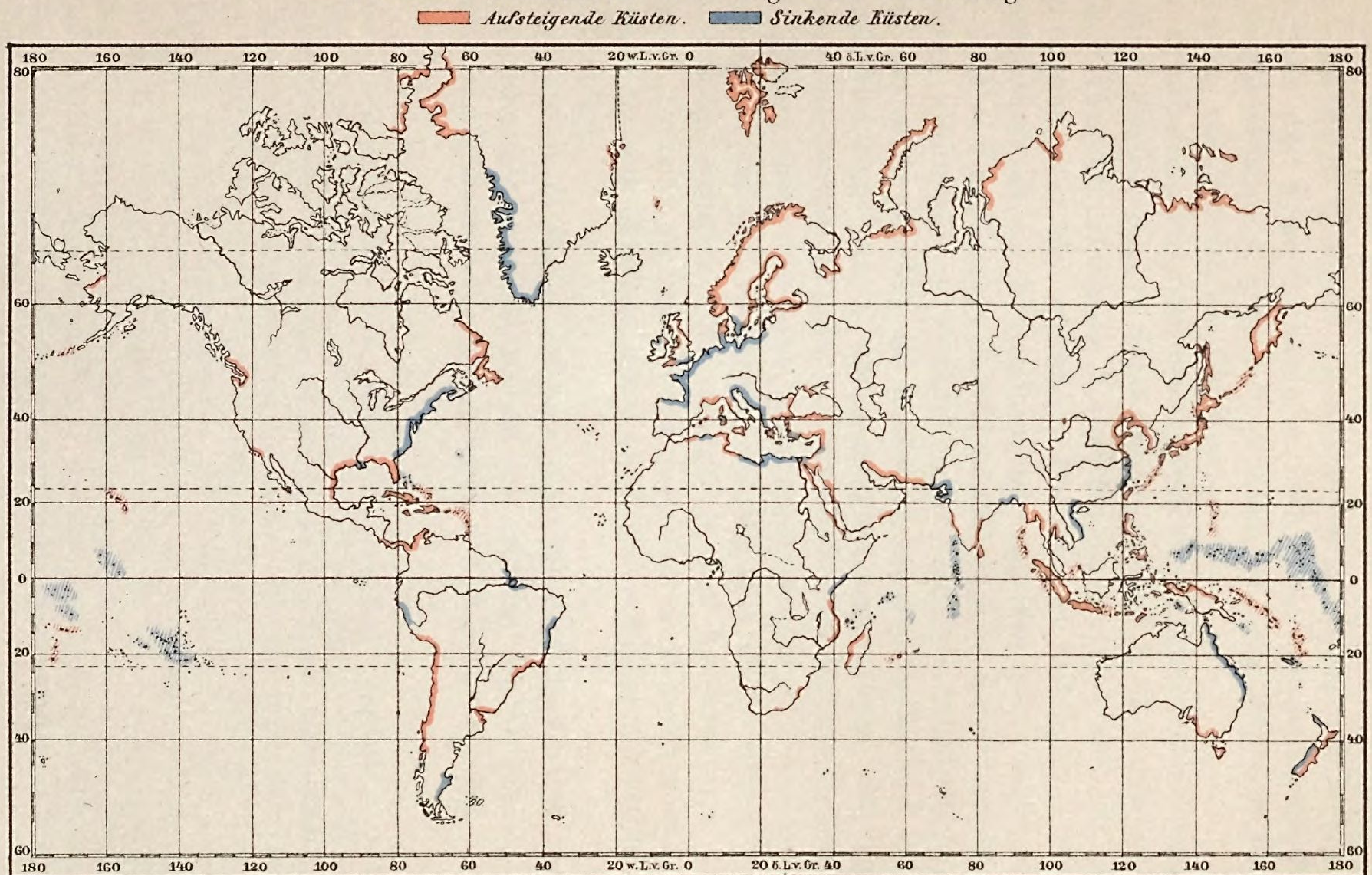
VIII. Ueber das Aufsteigen und Sinken der Küsten[1]).

(Vgl. hierzu Fig. 45).

Unsere vertrauenswürdigsten Landkarten, selbst solche, die aus einer Verdichtung von topographischen Blättern entstanden sind, gewähren uns doch nur Gemälde von vergänglicher Wahrheit. Auf dem Antlitz unseres Planeten ruht nämlich noch nicht eine tödtliche Erstarrung, sondern es verändert noch fortwährend seine Züge, insofern die Umrisse der Inseln und Festlande beständig schwanken, hier sich verkürzen, dort sich ausdehnen, und zwar mitunter so beträchtlich, dass sich schon in historischen Zeiten vieles anders gestaltet hat. Auch entgingen diese Verwandlungen nicht den ältesten Beobachtern, obgleich man sich meistens damit begnügte, die örtlichen An- oder Abschwemmungen von Land durch die strömende oder brandende See aufzuzählen. Schon seit Jahrhunderten hatten die Anwohner der schwedischen Küsten wahrgenommen, dass das baltische Meer, wie sie meinten, sich vom Lande zurückziehe. Celsius und Linné liessen Zeichen bei Gefle und Kalmar in Stein hauen, um die Fortdauer dieser Erscheinung bestätigen und messen zu können, während fast gleichzeitig ein jetzt vergessener verdienstvoller Beobachter, der österreichische P. Hell, um 1749 ein Zurückweichen des atlantischen Seespiegels auch an der norwegischen Küste bei der Insel Maasö, in der Nähe des Nordcaps, ankündigte. Als Leopold v. Buch 1807 von Magerö aus durch Lappland den Bottnischen Meerbusen erreicht hatte und an der schwedischen Küste südwärts reiste, hörte er allenthalben bestätigen, dass die See beständig von ihren Ufern zurückweiche, und er selbst fuhr

[1]) Der obige Abschnitt, welcher zuerst im Ausland vom 6. August 1867 erschien, ist O. Peschel's „Neuen Problemen" (3. Aufl. Leipzig 1878. S. 97—114) entlehnt. Er ist dem jetzigen Stande der Forschung entsprechend durch zahlreiche Zusätze erweitert worden.

Gebiete seculärer Hebung und Senkung.



Aus Peschel-Leipoldt Phys. Erdkunde.

F. A. Brockhaus' Geogr.-artist. Anstalt, Leipzig.

Fig. 45.

auf Kunststrassen über Gebiete, die noch ältere Leute als Meeresbuchten gekannt hatten. Bis zu seiner Zeit hatte man in diesem Vorgange nichts wahrgenommen als ein Sinken des Seespiegels; aber wäre diese Erklärung die richtige gewesen, so würde man an allen Küsten der Erde ein gleichmässiges Wachsen haben wahrnehmen müssen. Leopold v. Buch überraschte zuerst die gelehrte Welt mit der Wahrheit, dass weder der baltische, noch der atlantische Seespiegel ihren Gleichgewichtsstand verändern könnten, sondern dass sich ganz Skandinavien aus dem Schosse des Meeres hebe[1]).

So unvorbereitet für diese neue Anschauung waren damals selbst fachkundige Männer, dass 15 Jahre später v. Hoff in einer gekrönten Preisschrift über die natürlichen Veränderungen der Erdoberfläche behaupten durfte, dass die angebliche Hebung der baltischen Küsten nichts weiter sei als ein Versandungsvorgang, den man misskennen wolle[2]). Selbst Sir Charles Lyell bestritt noch in der ersten Ausgabe seiner „Principles of Geology“ L. v. Buch's Erklärung und widerrief erst später feierlich, als er sich an Ort und Stelle von ihrer Richtigkeit überzeugt hatte[3]). Auch noch in unseren Tagen tritt dann und wann ein Zweifler auf; aber die unendliche Mehrheit der Geologen und der Erdkundigen, und unter ihnen anerkannte Meister und hochgeachtete Lehrer, ist jetzt einstimmig darüber, dass ein Aufsteigen von Küsten wirklich stattfinde, für welches sie den Kunstausdruck der seculären Erhebung geschaffen haben, weil sie so langsam erfolgt, dass ihre senkrechte Wirkung kaum einen Meter im Laufe eines Jahrhunderts beträgt.

Die späteren Geologen erfassten mit Begierde diese neue Anschauung; denn jetzt erst konnten sie sich erklären, wie Gebirgsarten, die durch eingeschlossene Versteinerungen von Salzwasserfischen und

[1]) Leopold v. Buch, Reise durch Norwegen und Lappland. Berlin 1810. Bd. II, S. 291. Hier lesen wir: „Gewiss ist es, dass der Meeresspiegel nicht sinken kann; das erlaubt das Gleichgewicht der Meere schlechterdings nicht. Da nun aber das Phänomen der Abnahme sich gar nicht bezweifeln lässt, so bleibt, so viel wir jetzt sehen, kein anderer Ausweg als die Ueberzeugung, dass Schweden sich langsam in die Höhe erhebe.“ Schon vorher hatten Playfair (1802) und der Däne Jessen (1763), wenn auch weniger bestimmt als L. v. Buch, geäussert, dass nicht das Meer sinke, sondern Schweden sich erhebe; doch sind diese Aeusserungen L. v. Buch gänzlich unbekannt geblieben. A. v. Humboldt, Kosmos. Bd. I, S. 473, Anm. 20.

[2]) K. E. A. v. Hoff, Geschichte der natürlichen Veränderungen der Erdoberfläche. Gotha 1822. Bd. I, S. 447.

[3]) Sir Charles Lyell's gründliche Arbeit über diesen Gegenstand findet sich in den Philosophical Transactions of the R. Soc. of London. Vol. CXXV (1835), p. 1—38.

Salzwassermuscheln sich unverkennbar als unterseeische Schöpfungen verriethen, so hoch erhoben werden konnten, dass sie bisweilen die Kämme und Ränder hoher Gebirge bilden, ja hin und wieder selbst die Gipfel von granitischen Centralketten noch überragen. Es wurde ihnen auch jetzt leicht, in der Höhe trockener Abhänge die Spuren von Auswaschungen durch Meereswogen oder die Reste eines ehemaligen Seestrandes, ja an günstig gelegenen Orten eine Flucht von Stufen zu erkennen, die amphitheatralisch an den Rändern von Buchten aufsteigen und von denen jeder Absatz eine Pause im Aufwärtsschweben der Küste bezeichnet.

Richten sich an manchen Stellen die oceanischen Ufer auf, so darf man schon von vorn herein auch Senkungserscheinungen erwarten, durch welche die Hebungen compensirt werden. Als Charles Darwin auf seiner Fahrt um die Erde (1831 bis 1836) mit Fitzroy die Bildung der Koralleninseln (Atolle) in der Südsee und im Indischen Ocean genauer untersuchte, fand er die Beweise, dass, so weit sich jene niedrigen Inseln erstreckten, die unterseeische Flur, von welcher sie emporgewachsen waren, gesunken sein müsse. Er schloss dies bekanntlich aus der beobachteten Thatsache, dass die Riffkoralle nur im seichten Meereswasser, höchstens in Tiefen von 30 bis 45 Metern lebt und von einer Berührung mit der Luft getödtet wird. Da nun die Korallenriffe ziemlich jäh in die Tiefen zu stürzen pflegen, gewöhnlich auf 1000 Meter, aber an vielen Stellen sogar so tief, dass ihnen das Loth nicht mehr folgen kann, so musste an jenen Stellen der Meeresboden aus einer Untiefe hinabgesunken sein auf 1000 Meter oder in unlothbare Abgründe. Diese Behauptung war unanfechtbar; allein in der Erforschung der Natur wiegt der strengste Schluss nicht so viel als ein sinnlicher Beweis. Und um die nämliche Zeit, wo Darwin auf den Keeling-Inseln dem Bau der Atolle nachsann, entdeckte der Däne Pingel, dass sich die Westküste von Grönland langsam in die Davisstrasse hinabsenkt, seitdem sie von Europäern bewohnt wird; denn Pfähle, an denen sie ihre Fahrzeuge ehemals zu befestigen pflegten, waren mit ihren Köpfen unter das Wasser gesunken [1]). Hier besass man also in dem seculären Untertauchen einer Küste das Gegenstück zu der skandinavischen Hebung.

[1]) Schon Arctander machte zwischen den Jahren 1777 und 1779 eine ähnliche Wahrnehmung an der Westküste Grönland's, die jedoch wenig beachtet worden zu sein scheint. Er erfuhr in dem Fjorde Igalliko (60° 43′ n. Br.), dass ein kleines felsiges Eiland in der Nähe der Küste zur Fluthzeit fast gänzlich unter Wasser stünde, während sich doch darauf die Mauern eines ansehnlichen Hauses befänden. Offenbar lag hier eine Senkung vor; denn niemand wird auf den Gedanken verfallen, auf einer vom Meere überflutheten

Man beachte indessen, dass es sich hier um ein langsames Sinken handelt, welches vielleicht anderen Kräften zugeschrieben werden muss als die jähen und plötzlichen Einstürze in der Nähe vulcanischer Heerde. Die Trümmer des berühmten Serapistempels bei Pozzuoli, insbesondere drei den Stürmen der Zeit noch nicht gewichene Marmorsäulen (s. Fig. 46), sind eine sehr leserliche Urkunde, dass sich dort bedeutende Niveauveränderungen in kurzen Zeiträumen vollzogen haben. Eine Inschrift bezeugt uns, dass jener Tempel schon im Jahre 105 v. Chr. stand; zu dieser Zeit muss natürlich der Baugrund höher als der Meeresspiegel gelegen haben. Noch im Jahre 235 n. Chr. befand er sich auf dem Lande; denn damals liess der Kaiser Alexander Severus den Tempel mit kostbaren Marmorarbeiten schmücken. Hierauf begann die Senkung. In der Zeit zwischen dem 3. und 16. Jahrhundert waren die Säulen bis zu 4 Meter Höhe von Schutt umlagert, und über dieser Schuttdecke breitete sich noch eine 3 Meter tiefe Wasserschicht aus. Rechnet man noch die Höhe der Sockel hinzu, so ergiebt sich hieraus eine Senkung des Bodens von $7^1/_2$ Metern. Dass der Seespiegel wirklich einst bis zu $7^1/_2$ Meter Höhe an den Säulen emporgereicht habe, wird durch einen Gürtel von Bohrlöchern bewiesen, der allen drei Säulen gemeinsam ist und der $4^1/_2$ bis $7^1/_2$ Meter die jetzige Meeresfläche überragt. Diese Löcher rühren von Muscheln (Mytilus lithophagus L.) her, deren Gehäuse leider von gewissenlosen Sammlern als Merkwürdigkeiten geraubt worden sind. Nach den Berichten älterer Urkunden gewann schon am Beginn des 16. Jahrhunderts das Land der See wieder einigen Raum ab; eine ansehnliche und ziemlich rasche Hebung trat jedoch erst am 29. September 1538 ein, als in der Nähe der Monte Nuovo aufstieg. Jetzt bespült das Meerwasser nur noch den Fuss der Säulen; der Seespiegel ist somit wieder gesunken, wenn auch nicht völlig auf den Tiefenstand wie zur Zeit, wo der Tempel errichtet wurde [1]). Mit solchen vergleichsweise hastigen Zuckungen der

Fig. 46.



Ruinen des Serapistempels bei Pozzuoli.

Klippe ein Haus zu errichten. Als Pingel ein halbes Jahrhundert später diese Insel besuchte, war das Ganze so weit versunken, dass bloss die Ruinen aus dem Wasser hervorragten. Poggendorff's Annalen, Bd. XXXVII (1836), S. 446 f.

[1]) O. Peschel, Abhandlungen zur Erd- und Völkerkunde (herausgeg. von J. Löwenberg). Leipzig 1878. Bd. II, S. 529 ff.

Erdoberfläche in der Nähe vulcanischer Gebiete auf beschränkten Oertlichkeiten haben wir es weniger zu schaffen. Vielleicht würde es auch besser sein, nur gelegentlich den Einbruch des Runn von Cutch, östlich vom Indusdelta, zu erwähnen, der 1819 plötzlich erfolgte und beinahe 100 deutsche Quadratmeilen Land hinabschlang [1]). Da nämlich gleichzeitig ein benachbarter Theil der Küsten emporstieg, so ist dort eher der Sitz jäher als jener sanften seculären Thätigkeiten zu vermuthen, mit denen wir zunächst uns zu beschäftigen haben.

Die Aufgabe der vergleichenden Erdkunde ist es nun, die Küstenstellen aufzusuchen, von denen es sich nachweisen lässt, dass sie gehoben werden oder sinken, und dann zu fragen, ob sich nicht irgend welche allgemeine oder wenigstens häufige Merkmale dieses Vorganges auffinden lassen, so dass ein geschärftes Auge schon an gewissen Aeusserlichkeiten der Küsten den Hergang zu erkennen vermöge und die Landkarte dadurch die Reize eines historischen Gemäldes erhalte, auf dem wir an den Umrissen der festen Räume selbst das Schauspiel stiller, sich bewältigender, hier siegreicher, dort unterliegender Kräfte belauschen könnten. Bevor wir aber die bisher beglaubigten Thatsachen mustern, müssen wir überlegen, zu welchen Erwartungen wir überhaupt berechtigt sind. Europa wird uns wahrscheinlich als das unruhigste aller Festlande erscheinen. Dies kann daher rühren, dass es am reichsten gegliedert ist und die höchste Küstenentwicklung besitzt; doch ist es wohl bescheidener und gerathener, anzunehmen, dass Europa nur deswegen so unruhig erscheint, weil es unter der schärfsten Aufsicht, unter der Polizei einer zahlreichen Geologenschaar steht. Ferner müssen wir erwarten, dass Hebungen viel öfter nachgewiesen werden als Senkungen; denn bei Hebungen kann die versäumte Beobachtung immer wieder nachgeholt werden, da die Spuren ehemaliger Strandlinien und eines höheren Seespiegels sich nicht so rasch verwischen, sondern durch die Ueberreste von Seethieren, durch die charakteristischen Verwüstungen brandender Wogen oder durch eigenthümliche Gestaltungen der Ufer sich immer wieder neu verrathen werden. Wo aber Küsten sinken, da bedeckt das Wasser gewöhnlich die Wahrzeichen ihrer ehemaligen Erhebung in den Luftkreis. Ein Blick auf das beigegebene Kärtchen (Fig. 45) lässt dies in der That sofort erkennen.

Wir beginnen nun unsere Wanderung bei Südamerika, begeben uns dann nach dem Norden der Neuen Welt und nach Grönland und mustern hierauf das Stille Meer, das uns hinüberführt nach der Alten Welt. Hier sollen uns zuerst die arktischen Gebiete beschäftigen,

[1]) Sir Charles Lyell, Principles of Geology. 12th ed. London 1875. Vlo. II, p 98. sq.

worauf wir die Ost- und Südseite Asien's begleiten, um nach einem Excurs an die Ostküsten Afrika's durch das Rothe und Mittelländische Meer den Weg nach dem Norden Europa's zu nehmen.

An der Westseite Südamerika's scheint die patagonische Küste abwärts zu schweben, da, wie uns Philippi belehrt, auf den Chonos-Inseln früher Muschelbänke an Stellen sich ausbreiteten, wo später (zu Philippi's Zeit) tiefes Fahrwasser angetroffen wurde [1]. Von der Insel Chiloë an hingegen finden wir an der Westküste fast durchgängig Merkmale eines Aufsteigens. Die frühesten Nachrichten darüber verdankt die Wissenschaft Eduard Pöppig [2], der in den Jahren 1827 bis 1832 Südamerika von West nach Ost durchwanderte. In der Bay von Concon (nördlich von Valparaiso) sammelte er im Jahre 1828 die begründeten Aussagen von Fischern, dass sich seit 1822 der Boden der See um mindestens 2 Meter gehoben habe. Er selbst suchte häufig bei niedrigen Ebben nach Seegeschöpfen, besonders nach den so zierlichen Chitonen, wo die Fischer 6 Jahre vorher selbst bei sehr niedrigem Wasserstande nicht zu fussen vermochten. Bald nach Pöppig betraten Fitzroy und sein geologischer Begleiter Darwin den nämlichen Schauplatz. Darwin entdeckte auf der Insel Chiloë alte Strandlinien 100 Yards ($91\frac{1}{2}$ Meter) über dem jetzigen Seespiegel [3]. Auch führen hier eine Anzahl Vorgebirge bei den Eingeborenen den Namen Huapi [4], der sonst Inseln bedeutet; man darf daher vermuthen, dass sie ursprünglich in der See lagen und später

[1]) Monatsberichte der Berliner Ges. für Erdk. Alte Folge. Bd. II (1840), S. 47. Wenn Charles Darwin berichtet, dass er auf denselben Inseln Lager von recenten Muscheln in ansehnlicher Höhe über der Fluthgrenze beobachtete, so haben wir uns zu denken, dass der jetzigen Senkung eine Hebung vorausging.

[2]) Reise in Chile, Peru und auf dem Amazonenstrome während der Jahre 1827—1832. Leipzig 1835. Bd. I, S. 141.

[3]) Fonck hält die Muschellager auf Chiloë für eine Art Kjökkenmöddinger (Petermann's Mittheilungen 1866, S. 467) und begründet dies dadurch, dass die Eingeborenen noch jetzt die Meeresproducte nach ihren Hütten bringen, dort sie zubereiten und verzehren und die Reste neben ihren Hütten aufhäufen. Für die Muschelansammlungen an den weiter nordwärts gelegenen Gestaden ist eine derartige Erklärung nicht zulässig. F. G. Hahn, Untersuchungen über das Aufsteigen und Sinken der Küsten. Leipzig 1879. S. 83. 86. Dieser werthvollen, erst kürzlich erschienenen Schrift verdankt der vorliegende Abschnitt manigfache Bereicherungen.

[4]) Wir schreiben absichtlich Huapi (nicht Hapui) und folgen darin Darwin und Reclus (La Terre. Paris 1868. Tome I, p. 787). Ebenso belehrt uns Darwin, dass nicht Vorgebirge von Bolivia, sondern der Inseln Chiloë diesen Namen tragen. Charles Darwin, Geologische Beobachtungen über Südamerika. Uebersetzt von J. Victor Carus. Stuttgart 1878. S. 40 ff.

am Lande fest wurden. Ferner erheben sich nach Darwin alte Strandlinien in Chile nördlich von Concepcion zu 200 bis 250 Yards (183 bis 229 Meter), bei Valparaiso bis zu 400 Yards (366 Meter) und senken sich dann allmählich bis zur bolivianischen Küste, wo ihre Erhebung nur noch 60 bis 70 Yards (55 bis 64 Meter) beträgt[1]. Wir wissen sogar, dass sich der Hebungsact dort noch in neuerer Zeit weiter vollzieht. So berichtet uns Weyman, dass an einem Punkte bei Valdivia das Wasser im Jahre 1820 nur noch eine Tiefe von 0,6 Meter hatte, wo 60 bis 70 Jahre vorher sechs holländische Linienschiffe vor Anker gegangen waren[2]. Fitzroy bestätigte das Aufsteigen der kleinen Insel Santa Maria, die nicht weit von der Küstenstelle liegt, wo die Grenze zwischen Chile und Araucanien das Meer erreicht. Bei Penco (an der Bay von Concepcion) fand Darwin Beweise, dass das Aufsteigen der Küste seit 1751 4 Faden ($7\frac{1}{3}$ Meter) betragen habe. Ferner erkannte Weyman im Jahre 1842, dass zwei Strassen bei Valparaiso eine Stelle einnehmen, welche 1817 noch vom Meere überfluthet war[3].

Auch nördlich von Chile sind Merkmale von einer Erhebung der Küste vorhanden. Bei dem bolivianischen Hafen Cobija und dem peruanischen Iquique weicht die See zurück; ja bei dem noch nördlicheren Arica hat sich die Strandlinie in 40 Jahren um 160 Yards (146 Meter) in die See geschoben, so dass der Verladungsplatz hat verlegt werden müssen. Die merkwürdigsten Thatsachen aber sind von Darwin bei Callao oder vielmehr auf der vor diesem Hafen liegenden Insel San Lorenzo gesammelt worden. Dort, 85 engl. Fuss (26 Meter) über dem jetzigen Seespiegel, fand der britische Naturforscher Muschelbänke, und aus diesen Muscheln brach er einen Maiskolben und einen baumwollenen Faden heraus; folglich hat dort eine senkrechte Erhebung um mindestens 26 Meter stattgefunden, seit dort an der Küste Mais gebaut und Baumwolle versponnen wurde. Bei Callao jedoch scheint nicht bloss das Aufsteigen der Westküste seine Grenze zu finden, sondern bereits die Bewegung in ihr Gegentheil, nämlich in ein Sinken übergegangen zu sein; denn Callao selbst, eine Schöpfung, die kaum 300 Jahre zurückreicht, taucht in's Meer hinab; wenigstens stehen Theile des Stadtgebietes bereits unter Wasser. Durch einen Vergleich alter Karten mit neueren ist v. Tschudi zu der Schlussfolgerung gelangt, dass auch südlich von Callao die Küste gesunken sein müsse. Wahrscheinlich nimmt die Insel San Lorenzo an dieser Senkung Theil; doch steht jedenfalls soviel fest, dass die Er-

[1] Ausführliches hierüber findet man bei Ch. Darwin, l. c. S. 39 ff.
[2] Journal of the R. Geogr. Society of London 1842, p. 137.
[3] l. c. p. 137.

hebung derselben den Betrag neuerdings eingetretener Senkung um 26 Meter übertroffen haben muss[1]).

Für die Strecke Callao-Panama lassen sich keinerlei Niveauveränderungen mit Sicherheit nachweisen.

Von den übrigen südamerikanischen Küsten haben wir meist nur unbestimmte Nachrichten. So soll bei Colon (Aspinwall) und Santa Marta (Neu-Granada) ein Steigen der Küste wahrgenommen worden sein. Dass das Land sehr rasch an der Küste von Britisch-Guayana, wahrscheinlich jedoch nur in Folge von Anschwemmungen, wachse, werden wir später bei einer anderen Gelegenheit noch zu erwähnen haben. In Brasilien ist das Mündungsgebiet des Amazonas, sowie die Küste um Bahia eines Sinkens verdächtig; doch bilden die atlantischen Ufer zwischen Rio de Janeiro und der Provinz Rio Grande do Sul wahrscheinlich ein weites Hebungsfeld. Hier begegnet man nämlich, wie G. S. de Capanema ausführlich dargethan hat[2]), Muschelhügeln („Sambaquis“), die sicher durch Menschenhand zusammengetragen worden sind. Nun aber wurden nach de Capanema die gefangenen Seethiere gleich am Meere zugerichtet und verzehrt; die Sambaquis bezeichnen uns demnach ebenso wie die Strandlinien den ehemaligen Meeressaum. Da sie von de Capanema weit im Innern des Landes aufgefunden worden sind, so erscheint die Annahme gerechtfertigt, dass das Meer hier zurückweicht, also die Küste sich hebt. Doch dürfte der Hebungsbetrag im Jahrhundert kaum auf mehr als $^1/_2$ Meter geschätzt werden. An beiden Ufern der Laplatamündung sah Darwin in beträchtlicher Höhe über dem Strome reiche Mengen von Seethieren, welche heute noch das Brackwasser an der Mündung des Laplata bewohnen (ein Mytilus, Mactra Isabellei, Venus sinuosa, Azara labiata u. a.)[3]); hier muss demnach in der geologischen Gegenwart eine Aufrichtung erfolgt sein. Ob dieselbe jetzt zum Stillstand gekommen ist oder sich bereits in ihr Gegentheil, in ein Sinken verwandelt hat, lässt sich mit keinerlei Sicherheit angeben. Doch wird allgemein angenommen, dass die Ostküste von Patagonien wieder hinabtaucht unter den Spiegel des Oceans, obwohl hier zahlreiche regelmässige Küstenterrassen, sowie die an manchen Stellen nahezu 300 Meter über dem Meeresniveau sich ausbreitenden Muschellager eine bis in die neuere Zeit hereinreichende Hebung bezeugen.

An der Westseite Central- und Nordamerika's sind bisher nur Hebungen beobachtet worden. K. v. Seebach erkannte am Ostufer des Golfs von Nicoya (Costa Rica) eine Strandlinie, die auf

[1]) Charles Darwin, l. c. S. 71 ff.

[2]) Petermann's Mittheilungen 1874, S. 228—230.

[3]) Charles Darwin, l. c. S. 2 ff.

ein der jüngsten geologischen Epoche angehörendes Aufsteigen des Landes hinweist [1]). Ebenso entdeckte Oscar Löw, der Geolog der Wheeler-Expedition, Strandlinien bei San Juan Capistrano (südöstlich von Los Angeles in Californien). Aus Löw's Mittheilungen, nach welchen sich die Küste bei diesem Orte im Jahrhundert um 1,8 Meter hebt, scheint hervorzugehen, dass die dortige Aufrichtung auch jetzt noch fortdauert und den Küstenbewohnern längst schon bekannt ist. Erwähnenswerth sind auch noch eigenthümliche kesselartige Vertiefungen im dortigen Hügelland, deren Entstehung auf Wellenauswaschung zurückgeführt werden muss [2]). Ferner ist vielleicht auch die Vancouver-Insel und die benachbarte Küste von Britisch-Columbia im Aufsteigen begriffen; wenigstens deuten Ablagerungen recenter Muscheln bis zu einer Höhe von 15 Metern über dem Meeresniveau auf Vancouver und regelmässige Terrassen am Fraserflusse (in Britisch-Columbia) darauf hin [3]). Endlich sind Hebungen an den Gestaden des Territoriums Aliaska ziemlich gut beglaubigt. Whymper [4]) erzählt uns mit Berufung auf den russischen Reisenden Zagoskin, dass die Stelle, wo jetzt das Fort St. Michael steht (am Norton-Sund), noch im Anfang dieses Jahrhunderts vom Meere überfluthet war. Ferner wurde das Auftauchen der neuen Insel Bojoslov (nördlich von Unalaschka) im Jahre 1796 wirklich beobachtet; doch muss es in diesem Falle dahin gestellt bleiben, ob nicht vulcanische Kräfte einen wesentlichen Antheil an der Bildung dieser Insel hatten.

Weit besser unterrichtet sind wir über die seculären Schwankungen der Ostküste von Central- und Nordamerika. Zunächst ist das Gebiet der Kleinen und Grossen Antillen ein weites Hebungsfeld. Relativ gut bezeugt wird insbesondere das Aufsteigen Haïti's durch das Anwachsen der Halbinsel Samaná an den Hauptkörper der Insel, sowie durch die merkwürdigen Höhlen an der S.-Lorenzo-Bay, die offenbar vom Meere ausgewaschen sind, nichts desto weniger aber den Seespiegel bis 18 Meter überragen [5]). Die Inselflur der Bahama-Gruppe scheint, um einen Lieblingsausdruck älterer Geologen zu gebrauchen, eine Schwengelbewegung (mouvement de bascule) zu vollziehen, d. h. im Westen zu steigen und im Osten zu sinken, da die einzelnen Inseln nach Osten zu an Grösse abnehmen und schliesslich

[1]) Petermann's Mittheilungen 1865, S. 242.
[2]) Petermann's Mittheilungen 1876, S. 332.
[3]) F. G. Hahn, l. c. S. 99 f.
[4]) Journal of the R. Geogr. Society of London 1868, p. 222 sq.
[5]) Robert Schomburgk in dem Journal of the R. Geogr. Society of London 1853, p. 264 sq.

nur durch zahlreiche Bänke vertreten werden[1]). An der Ostküste Centralamerika's und Mexico's sprechen die weiten Küstenebenen mit Strandlagunen und die zahlreichen aus dem Meere erhobenen Koralleninseln eher für eine Hebung als für eine Senkung. Im Mexicanischen Meerbusen wird ein Landgewinn bei Tamaulipas (Mexico) erwähnt, und in der Matagorda-Bay ist der Hafen von Indianola (Texas) so rasch versandet, dass er um vier englische Meilen nach Powderhorn hat verlegt werden müssen. Nun münden zwar in die Matagorda-Bay viele Flüsse, unter anderen ein recht stattlicher Rio Colorado, dessen Alluvionsthätigkeiten vielleicht jene Erscheinung zugeschrieben werden könnte; da jedoch die Küste nach Douai's Bericht[2]) durchaus nicht völlig flach ist, sondern überall an den Bayufern aus 2 bis 3 Meter hohen Bänken besteht, welche sich vorwiegend aus Schalthierüberresten neueren Ursprunges zusammensetzen, so dürfen wir wohl kaum an einer wirklichen Hebung dieses Küstengebietes zweifeln. Das Mississippi-Delta hingegen weist unverkennbare Spuren einer jüngeren Senkung auf. Wir führen nur an, dass man beim Bohren eines artesischen Brunnens bei New-Orleans im Jahre 1854 in ansehnlicher Tiefe auf Ueberreste von gegenwärtig dort noch an den Ufergebieten wachsenden Pflanzen stiess[3]); auch vermisst man da, wo der Mississippi aufhört, seine Schwemmstoffe hinauszutragen in's Meer, nicht bloss alle neueren Alluvionen, sondern man beobachtet sogar einen raschen Untergang der alten Uferleisten. So lehrt uns ein Vergleich der zwischen 1764 und 1771 von Gould entworfenen Karten mit den neueren Aufnahmen Talcott's (1838) und Humphreys' und Abbot's (1860), dass der Südpass innerhalb des letzten Jahrhunderts 4 englische Meilen zurückgewichen ist, weil er nicht mehr als Hauptabflusscanal dient[4]). Von der Mississippi-Mündung ostwärts trifft man bei Mobile auf Bänke von Gnathodon-Schalen, welche, da sie sich weit landeinwärts erstrecken, unbedingt eine leichte Hebung des Landes voraussetzen. Auch Florida dürfte diesem Hebungsgebiete angehören, da es, wie Agassiz gezeigt hat, fast ganz eine jüngere Korallenbildung ist. Für die Fortdauer der Hebung in der Gegenwart lässt sich freilich kein Argument beibringen.

Indem wir uns weiter nach Norden wenden, betreten wir ein ausgedehntes Senkungsgebiet. Sir Charles Lyell argwöhnt ein Sinken

[1]) Charles Darwin, The Structure and Distribution of Coral Reefs. 2nd ed. London 1874. p. 260. F. G. Hahn, l. c. S. 104.

[2]) Petermann's Mittheilungen 1864, S. 121.

[3]) Sir Charles Lyell, Principles of Geology. 12th ed. London 1875. Vol. I, p. 455 sq.

[4]) Sir Charles Lyell, l. c. Vol. I, p. 458.

der Küsten von Georgien und Süd-Carolina, da hier Cypressen und Cedern bis $4\frac{1}{2}$ Meter tief unter der Fluthmarke vergraben sind. Diese Bewegung erstreckt sich noch weiter über Cap Hatteras (Nord-Carolina), ja über die Nordgrenze der Vereinigten Staaten hinaus bis nach Nova Scotia; am stärksten aber äussert sie sich bei New-Jersey, wo eine Insel, Egg Island, die nach Karten vom Jahre 1694 [1]) 300 Acres Flächeninhalt besessen haben soll, zur Fluthzeit jetzt gänzlich verschwindet, zur Ebbezeit nur noch 50 Acres besitzt. Nach dem Ausspruch der Küstenvermesser verliert die Delaware-Bay jährlich $2\frac{1}{2}$ Meter Uferrand, und das langsame Versinken jener Küstenstrecke wird in senkrechter Richtung auf $\frac{2}{3}$ Meter in unserem Jahrhundert geschätzt. An zahlreichen Küstenpunkten von Ost-Virginien, Delaware, New-Jersey, New-York und den nördlichen Staaten, sowie von Nova Scotia beweisen auch ertrunkene Torfmoore und Wälder von Ahorn, Eiche, Buche, Cypresse das Hinabtauchen der oceanischen Ufer. Ferner darf die Gruppe der Bermudas zu den sinkenden Räumen gezählt werden, seitdem bei der Anlage eines neuen Docks 14 Meter unter dem niedrigsten Wasserstande in einer 0,6 Meter mächtigen Schicht rother Erde Ueberreste von Cedern entdeckt wurden [2]). Schon bei Neufundland beginnt aber eine Gegenbewegung, nämlich ein langsames Aufsteigen, welches sich auch über Labrador erstreckt. Beides ist in neuerer Zeit von dem Commander W. Chimmo bestätigt worden [3]). Die arktische Küste Nordamerika's und den Parry-Archipel rechnet man vielfach zu den aufsteigenden Räumen; doch fehlt es gänzlich an sicheren Zeugnissen hierfür.

Das kleine grönländische Festland, von dem wir jedoch bisher nur den westlichen Küstensaum besser kennen, erfreut sich auch keiner völligen Ruhe. Wie schon erwähnt, gelang es dort zuerst Arctander und später dem Dänen Pingel, aus unzweideutigen Thatsachen zu erkennen, dass seit etwa 400 Jahren die Uferstrecken zwischen dem Igalliko-Fjord (60° 43′ n. Br.) und der Disco-Bay (69° n. Br.) langsam abwärts schweben [4]). Späterhin hat man Spuren von Senkungen bis lat. 73° verfolgt. Auch vollziehen sich diese Bewegungen jetzt noch, weshalb die Bewohner vielfach genöthigt sind, ihre Wohnungen zu verlassen und sie weiter landeinwärts wieder aufzu-

[1]) Nicht 1619, auch nicht 1649, wie Reclus angiebt, sondern 1694 nach Cook, dem wir die gründlichsten Untersuchungen über die Küsten von New-Jersey und New-York verdanken. American Journal of science and arts. Ser. II, Vol. XXIV, p. 341—355.

[2]) Matthew Jones in dem American Journal of science and arts. Ser. III, Vol. IV, p. 414 sq.

[3]) Journal of the R. Geogr. Society of London 1868, p. 271.

[4]) Poggendorff's Annalen, Bd. XXXVII (1836), S. 446 f.

richten oder die vom Meere überflutheten Pfähle, welche zur Bootbefestigung dienen, näher am Ufer durch neue zu ersetzen. Weiter im Norden traf der Entdecker Kane von lat. 76° bis zum Humboldt-Gletscher (lat. 80°) in den Buchten Strandstufen, deren er 41 in senkrechter Folge über einander zählte. Sie sind ganz untrügliche Zeichen, dass das Land dort mit 41 Zwischenpausen von der untersten bis zur höchsten Terrasse gehoben worden ist. Kane's Nachfolger, der Polarreisende Hayes, hat diese Wahrnehmung für andere Küstenpunkte bestätigt. In Port Foulke, seinem Winterhafen (lat. 78° 17'), erhoben sich 23 alte Uferleisten stufenförmig bis 110 engl. Fuss (33,5 Meter) über den mittleren Seespiegel. Den nämlichen Wahrzeichen begegnete er weiter gegen Norden an der Südostküste von Grinnell-Land. Auch hier stieg der Boden in stufenförmigen Absätzen an, deren höchster 120 bis 150 engl. Fuss (37 bis 46 Meter) über dem Meeresspiegel lag.[1]) Sie werden von ihm als ein Beweis des Aufsteigens von Nord-Grönland und der gegenüber liegenden Küsten angerufen, wie auch schon Sir John Herschel in seiner physikalischen Erdkunde den älteren Angaben von Kane die gleiche Bedeutung beigemessen hat. Alle die genannten Merkzeichen sprechen freilich nur für eine ältere Hebung, zumal sie auch südwärts vom 73. Grade vorkommen, wo sich doch zweifellos das Land senkt. Doch scheinen auch mehrere Thatsachen auf ein neueres Emporsteigen hinzuweisen. So entdeckten die Engländer der „Polaris"-Expedition (1872) an der Westküste Grönland's nördlich vom Humboldt-Gletscher eine Meeresfauna in Süsswasserseen, welche mehr als 10 Meter über dem Meeresspiegel und weit ausserhalb des Bereichs der Springfluthen lagen[2]). Ferner fand Nares auf der Westseite des Robeson-Canals Treibholz bis zu einer Höhe von 47 Metern über dem Niveau des Oceans, wohin es doch kaum durch hohen Seegang gespült worden sein konnte[3]). Ob die Ostküste Grönland's an dem Aufsteigen der Westseite theilnimmt, lässt sich nicht entscheiden; doch machen es die von Payer auf der Insel Shannon, im Süden der Sabine-Insel und auf der westöstlich streichenden Küstenlinie zwischen Cap Broer Ruys und der Mackenzie-Bucht wahrgenommenen Strandterrassen wahrscheinlich[4]).

In der Südsee tritt uns die Erscheinung eines Sinkens der Erdoberfläche am grossartigsten entgegen, und dort bieten auch die Koralleninseln und Korallenriffe erwünschte Messwerkzeuge zur Ermittelung des ehemaligen Wasserstandes. Alle Atolle oder echten Korallen-

[1]) J. J. Hayes, The open Polar Sea. London 1867. p. 337. 402.
[2]) Nature, Vol. IX, Nr. 230. 26. March 1874, p. 405.
[3]) Petermann's Mittheilungen 1876, S. 481 f.
[4]) Petermann's Mittheilungen 1871, S. 123.

inseln sind auf der Flur eines versunkenen Landes emporgewachsen; alle sind niedrig, das heisst, nur etliche Fuss über den Seespiegel erhoben, mit wenigen Ausnahmen, die wir später in dem Abschnitt über den Ursprung der Inseln anführen werden. Soweit sie sich erstrecken, spricht man von einem grossen Senkungsfeld, dessen Längenaxe nach Dana auf einer Karte in Mercator's Projection durch eine gerade Linie von der Nordspitze des japanischen Nipon nach Cap Horn bezeichnet wird. Das Sinken dieser Inselwelt erklärt uns zugleich die räthselhafte Ausbreitung einer tropischen Menschenrace. Wir finden bekanntlich die malayischen Polynesier, deren Ursitze wir auf dem asiatischen Festlande, und zwar auf der Halbinsel Malakka, zu suchen gezwungen sind, von Madagaskar verbreitet bis zur Osterinsel und von den nördlichen Sandwich-Inseln bis nach Neuseeland. Es war immer schwierig zu erklären, wie diese zwar schifffahrtskundigen, aber für grössere Fahrten ungenügend gerüsteten Stämme gegen die herrschenden Passatwinde so weit nach Osten vordringen konnten; aber bis in die Gegenwart dauern ihre Wanderungen noch fort. Die niedrigen Atolle, welche sie bewohnen, werden nämlich früher oder später ein Raub der Wellen, und beständig hören wir von Polynesiern, die sich wegen der Zerstörung ihrer Heimath nach einem anderen Asyl einschiffen mussten. Wir gewahren also, dass die fortdauernden Senkungen sie beständig wieder von ihren Rastplätzen aufscheuchen, dass nicht Neugier oder Wanderlust, sondern die bitterste Noth über die See sie versprengt hat. Wir dürfen aber auch ohne Willkür annehmen, dass in früheren Jahrhunderten die Zahl der Inseln viel grösser gewesen sei als gegenwärtig und dass manche Insel, die ihnen als Rastplatz und Zwischenstation auf ihren Wanderzügen gedient haben mag, gegenwärtig unserem Auge entrückt worden sei. Seit Europäer jenen Ocean befahren, sind schon manche Inseln vermisst worden, andere, wie Whitsunday (Tuamotu-Archipel), haben an Umfang verloren[1]), und bei einem später zu nennenden Beispiele lässt sich das Versinken durch sinnliche Wahrnehmungen beweisen. Wenn übrigens Darwin gewöhnlich als derjenige Gelehrte genannt wird, welcher zuerst die Korallenbildungen als Massstab der Bodenschwankungen zu benützen gelehrt habe, so müssen wir erinnern, dass schon Joh. Reinh. Forster sechzig Jahre früher bemerkt, er habe auf seiner Reise als Begleiter Capitain Cook's nur bei einer einzigen Insel der Südsee Beweise gefunden, „dass der Boden wirklich in Ansehung der Wasserfläche etwas gewonnen habe“ [2]). Am 3. Juli 1774 erreichten nämlich die Seefahrer

[1]) Charles Darwin, The Structure and Distribution of Coral Reefs. 2nd ed. London 1874. p. 128.

[2]) J. R. Forster, Bemerkungen auf seiner Reise um die Welt. Berlin 1783. S. 125.

Turtle-Island, das Cook in seinem Werke über die damaligen Entdeckungen nach lat. 19° 48′ S., long. 178° 2′ W. Gr. verlegt, das also wahrscheinlich mit dem heutigen Vatoa der östlichen Fidschigruppe identisch ist. Auf dem Riff jener Insel bemerkte Forster etliche Korallen, die den Seespiegel überragten, obgleich sie doch nur unter dem Wasser leben können. „Entweder“, fügt er hinzu, „müssen sie also aus dem Meere gehoben worden, oder das Meer selbst muss zurückgetreten sein.“ Die wenigen Beispiele von gehobenen Koralleninseln, die wir später anführen werden, bestätigen nur die grosse Allgemeinheit der Regel für die Südsee, dass alle Korallen-Inseln (Atolle) niedrig sind und auf gesunkener und sinkender Meeresflur ruhen, dass alle hohen Inseln vulcanisch sind und dass die wenigen über Wasser gehobenen Atolle sämmtlich in der Nähe vulcanischer Bildungen liegen.

Zu den sinkenden Räumen gehört zunächst das Gebiet der Tuamotu-Gruppe, von welcher in historischen Zeiten bereits mehrere Inseln verschwunden sind. Die Gesellschafts-Inseln scheinen weit langsamer abwärts zu schweben. v. Hoff bemerkt zwar, dass längs dem Fusse von Felsen am Venus-Point Tahiti's, die bei Wallis' Besuche 1767 in's Meer sanken, jetzt ein trockener Pfad hinführe, also eine Hebung stattgefunden haben müsse; doch haben die Nachforschungen Darwin's bei den Eingeborenen ergeben, dass jene Angabe auf einem Irrthum beruht[1]). Untertauchende Gruppen sind ferner, wenn wir von der Aufzählung der central-polynesischen Sporaden südlich von den Sandwich-Inseln absehen, die Union-, Phönix-, Ellice-, Gilbert- und Marshall-Inseln, sowie der ausgedehnte Archipel der Carolinen. Namentlich wird uns von dem letzteren wiederholt berichtet, dass einzelne Inseln vom Ocean verschlungen worden seien. Auf der Insel Puynipet hat sich nach Karl v. Scherzer's Bericht ein alter Baugrund mit Steinblöcken und Säulen unter das Wasser gesenkt.

Die Inseln mit erloschenen Vulcanen wie die Fidschi- und Marquesas-Inseln scheinen gegenwärtig zu ruhen; wenigstens fehlen zuverlässige Angaben über Erhebung wie Senkung. Dagegen steigen fast alle Inseln mit thätigen Vulcanen, und unter ihnen mit besonderer Energie die hochvulcanischen Sandwich-Inseln, aus dem Schosse des Oceans empor. Vermochte doch Pierce auf Oahu bereits nach Ablauf von 16 Jahren das Vorrücken des Landes deutlich wahrzunehmen! Ferner hat man auf den mit thätigen Vulcanen ausgerüsteten Tonga-(Freundschafts-) Inseln 90 Meter hohe Strandlinien und zugleich Beweise für eine neuere Hebung der Inseln vorgefunden. Auch das

[1]) Charles Darwin, l. c. Nota zu p. 182.

Aufsteigen der zum Theil vulcanischen Samoa-Inseln kann wohl kaum bezweifelt werden. Insbesondere begegnen wir an dem Westrande der oceanischen Inselwelt einer Mehrzahl von aufstrebenden Inseln. Zunächst wissen wir von Neuseeland, wo die Terrassenbildungen der Südinsel ein Aufsteigen um 650 bis 1600 Meter in posttertiärer Zeit beglaubigen, dass die Hebung an den Ostküsten noch fortdauert, wo erst in allerjüngster Zeit die mit mehrfachen Strandlinien versehene Bankshalbinsel fest geworden [1]) und bei Lyttelton ein „Wachsen des Sandes" um 1 Meter in 10 Jahren wahrgenommen worden ist. Doch müssen wir hinzufügen, dass der Hebung der Ostküsten ein Sinken der Westküsten entspricht, so dass also Neuseeland wie ein Segelboot sich zur Seite neigt. Namentlich schwebt der nördlich von Auckland gelegene Theil unzweifelhaft abwärts. Nach v. Hochstetter ist die Drehungsaxe von Neuseeland eine der Westküste parallel laufende Linie, welche im Norden im Tauranga-Hafen endet. Die Neuen Hebriden, die Salomonen, Neu-Irland, die West- und Nordküsten von Neu-Guinea und die Marianen (Ladronen) sind im Aufsteigen begriffen, wie ihre aufragenden Korallenriffe es bezeugen. Alle diese Inseln tragen thätige Vulcane, während das unvulcanische Neu-Caledonien südwärts von ihnen und die nahe liegende unvulcanische Louisiadenkette tiefer in die See hinabtauchen. In den Loyalitätsinseln tritt uns jedoch auch eine nichtvulcanische und trotzdem mit untrüglichen Zeichen einer neueren Hebung behaftete Inselgruppe entgegen [2]).

Für die Nord- und Westküste des australischen Continentes fehlen uns sichere Kennzeichen seculärer Schwankungen, obwohl gewisse Küstenbildungen auf eine jüngere Hebung hindeuten. Dagegen wird ein Aufsteigen Südaustralien's durch das Auftauchen von Riffen in der Encounter-Bay und durch die Bildung langer, schmaler Strandseen mit recenten Seemuscheln bezeugt. Ferner ist es Becker gelungen, im Gebiete der Hobson-Bay bei Melbourne (Victoria) ein Aufsteigen von $^1/_{10}$ Meter im Jahre zu beobachten [3]), an welcher Bewegung auch das gegenüber liegende Tasmanien Antheil zu nehmen scheint. Dagegen müssen wir den Ostrand Australien's, namentlich soweit er von dem grossen Barrière-Riff begleitet ist, so lange den sinkenden Länderräumen beiordnen, als nicht zutreffendere Beweise wie die bisherigen uns von dem Gegentheil belehren [4]).

Wir verlassen hier die Neue Welt, um uns zu einem Rundgang um die ungeheure Ländermasse der Alten Welt anzuschicken. Lenken

[1]) Ferd. v. Hochstetter, Neuseeland. Stuttgart 1863. S. 40 f.

[2]) F. G. Hahn, l. c. S. 73.

[3]) Petermann's Mittheilungen 1858, S. 477.

[4]) Vgl. Sir Charles Lyell, l. c. Vol. II, Fig. 163 auf p. 603.

wir unsere Blicke zuerst auf die arktischen Gebiete, so begegnen wir mehreren Inseln, resp. Inselgruppen mit unverkennbaren Hebungserscheinungen: nämlich Jan Mayen [1]), Spitzbergen und Nowaja Semlja. Auf Spitzbergen werden Reste von Muscheln und Walfischen auf Höhen von 50 Metern getroffen, und dass diese Hebung noch bis in die neueste Zeit fortgedauert hat, konnten die Beobachter der schwedischen Expedition im Jahre 1864 bestätigen, welche an der Nordküste Treibholz hoch über dem Bereich der Springfluthen angespült sahen. Die dortigen Strandgeschiebe verrathen deutlich, dass sie vor Kurzem noch dem Meeresgrunde angehörten, und zahlreiche felsige Landzungen erscheinen auf älteren Karten noch als Inseln [2]). Auf Nowaja Semlja entdeckte Capt. Mack im Jahre 1871 die niedrigen Golfstrom-Inseln an derselben Stelle, wo Barent am 27. Juli 1594 eine nicht einmal besonders seichte Sandbank mit 33,9 Meter Wassertiefe ermittelte [3]); ausserdem bezeugen Strandterrassen und hochgelegene Treibhölzer eine neuere Hebung. Recente Seemuscheln, welche sich in grosser Entfernung von der Küste in reicher Menge ausbreiten, beweisen ferner, dass auch das europäische Festland zwischen der Dwina und dem Uralgebirge an dieser Erhebung Theil nimmt.

Begeben wir uns jetzt nach dem asiatischen Norden, so bieten uns die sibirischen Eismeerküsten Beweise eines Aufsteigens in der jüngsten Vergangenheit. Schon Gerhard Friedrich Müller, einer der Gelehrten, der mit Gmelin zur sogenannten zweiten kamtschatkischen Expedition (1734 bis 1743) unter Vitus Bering gehörte, aber nur bis Jakutsk gelangte, brachte die Nachricht heim, dass an den Eismeerküsten weit über den Hochwasserlinien Treibholz angehäuft gefunden werde [4]). Diese Thatsache bestätigte in unserem Jahrhundert der Polarwanderer Hedenström (1809 bis 1811), der an der Küste gegenüber den neusibirischen Inseln Treibholz etliche Werst vom jetzigen Ufer auf einer wallartigen Erhebung von mehreren Saschen Höhe angeschwemmt sah. Ein späterer Nachfolger Hedenström's, Ferdinand v. Wrangell, wiederholte nicht nur die nämliche Angabe [5]), sondern fügte noch hinzu, dass er die kleine Insel Dio-

[1]) Vgl. H. Mohn in Petermann's Mittheilungen 1878, S. 228—235 und Tafel XIII.

[2]) F. G. Hahn, l. c. S. 125 ff.

[3]) Petermann's Mittheilungen 1872, S. 396.

[4]) G. F. Müller, Sammlung russischer Geschichte. Petersburg 1758. Bd. III, S. 160.

[5]) Ferd. v. Wrangell, Reise längs der Nordküste von Sibirien und auf dem Eismeere in den Jahren 1820 bis 1824. Berlin 1839. Bd. I, S. 114. Bd. II, S. 256 u. a.

medes, östlich vom Swiätoi-Noss, welche Schalaurow 1761 bis 1762 besucht hatte, 60 Jahre später mit dem Festlande verwachsen getroffen habe. v. Middendorff fand im Taimyrlande zahllose Muscheln, welche jetzt noch im nördlichen Eismeere vorkommen, in einer Meereshöhe von 18 bis 62 Metern und bis nahezu 30 geogr. Meilen von der Küste entfernt. Ueberhaupt scheint, wie die Beschaffenheit des Bodens und die eingeschlossenen Conchylien bezeugen, der grösste Theil der sibirischen Tundra erst in jüngster Zeit aus dem Meere emporgestiegen zu sein. Auch die nordöstlich von der Lenamündung gelegene Inselgruppe Neusibirien zählt zu den in Hebung begriffenen Gebieten.

An den Ufern des Stillen Oceans steigen Kamtschatka, sowie die vulcanischen Kurilen mehr und mehr aus dem Ocean empor. Auf Sachalin wurden von russischen Reisenden jüngere Muschelbänke aufgefunden, welche in ziemlicher Entfernung vom Ufer auf Schichten von Meeresthon liegen; ehemalige Buchten sind zu Seen oder brackischen Sümpfen geworden. Ebenso sind Hebungen für das Mündungsgebiet des Amur nachgewiesen. Das japanische Inselreich ist, wie aus zahlreichen Strandlinien geschlossen werden darf, fast durchweg ein Hebungsgebiet. Das im Jahre 1456 am Meere erbaute Schloss zu Tokio steht jetzt in beträchtlicher Entfernung von der Küste. Ferner nimmt Korea, sowie der nördliche Theil von China bis zur Mündung des Yang-tse-kiang an dieser Hebung Theil. Niu-tschuan, einst eine Seestadt, liegt jetzt 7 geogr. Meilen weit binnenwärts, und in der Ebene von Pe-king trifft man auf Muschelbänke von recenten Arten. Südlich von der Mündung des Yang-tse-kiang geht die Hebung in eine Senkung über. v. Richthofen[1]) macht dies wahrscheinlich durch den Hinweis auf die Schlammbänke an der Mündung der südchinesischen Flüsse, welche stets im Niveau der Fluth verharren, während sie doch bei völliger Ruhe oder gar im Falle einer Hebung der Küste aus dem Meeresspiegel emportauchen müssten. Uebrigens hat man auch positive Argumente für eine Senkung: ein Canal bei Fu-tscheu, welcher nach chinesischen Aufzeichnungen vor 900 Jahren zu flach für Dschunken war, dient jetzt als Hauptfahrwasser für die grösseren Schiffe; ferner fand man beim Graben eines Brunnens in 7½—9 Meter Tiefe unter dem Boden Reste eines chinesischen Hauses mit Töpfergeschirr und halbzerstörtem Holz[2]). Die benachbarten Liu-kiu-Inseln, sowie Formosa zeigen Spuren einer neueren Hebung. Die Küsten von Tong-king und Cochinchina scheinen abwärts zu schweben, während

[1]) In Neumayer's Anleitung zu wissenschaftlichen Beobachtungen auf Reisen. Berlin 1875. S. 306.

[2]) Nach Bickmore (American Journal of science and arts. Ser. II, Vol. XLV, p. 214) in F. G. Hahn, l. c. S. 59.

an der Mündung des Menam sicher eine langsame Hebung das rasche Wachsthum seines Delta's begünstigt.

Im Indischen Archipel zeigen sich, dem vulcanischen Charakter desselben entsprechend, fast nur Küstenaufrichtungen. Auf den Philippinen [1]), den Molukken, — insbesondere auf Gilolo, wo das Wachsthum des Landes bei den Eingeborenen längst schon allgemein bekannt ist [2]), — Timor, Sumbawa, Lombok, Bali, Java, Sumatra und den südwestlich von Sumatra gelegenen Mantawi-Inseln begegnen wir überall unzweideutigen Merkmalen für eine neuere Erhebung. Eine Senkung erleiden wahrscheinlich die Aru-Inseln.

An der Südseite Asien's sind auf den vulcanischen Nikobaren und Andamanen Zeugnisse für eine neuere Hebung vorhanden; ja, diese Bewegung scheint sich noch fortzusetzen bis zur Küste von Pegu, wo nach Adolf Bastian's Ermittelungen seit Menschengedenken die Küste rasch anwächst, so dass zwischen dem Sittang- und Belingfluss eine ehemalige Insel Kado jetzt fest geworden ist und bereits ein Dorf Kokaduth trägt [3]). v. Richthofen fand an den Ufern des Golfes von Martaban ziemlich 5 Meter über der Ebene in einem Kalkriff eine Höhle, in deren Eingang Millionen einer Neritina-Art durch Tropfsteinmassen zu einem festen Gestein verbunden waren; die Farbe derselben war noch so frisch, dass es schien, als ob die Thiere erst gestorben wären [4]). Auch im Irawadi-Thale selbst sind seit 1750 Hebungen verspürt worden, und diese Bewegung erstreckt sich bis an die Küste von Aracan, von der nur wenig entfernt die vulcanischen Inseln Tscheduba und Reguain (lat. 18° 40′ N.) liegen, auf welcher letzteren drei Stufen des Aufrückens deutlich bemerkbar sind. Auf der anderen Seite des Bengalischen Golfes wird das Gangesdelta gewöhnlich zu den aufsteigenden Gebieten gezählt. Man hat nämlich bemerkt, dass zwei linke Nebenflüsse des Ganges, die Mahanadi (nicht zu verwechseln mit dem selbstständigen Strome Dekan's) und die Kosi, ihre Mündungen in den Ganges von Ost nach West, also nach einer höher gelegenen Stromstelle, zurückverlegen, und das Gleiche ist der Fall mit dem rechten Nebenfluss, der Sona, die in acht Jahren ihre Mündung stromaufwärts oder gegen West dem Zusammenfluss des Ganges mit der Gogra um 4 engl. Meilen genähert hat. Doch scheinen diese Veränderungen anderen Ursachen zugeschrieben werden zu

[1]) Charles Darwin, The Structure and Distribution of Coral Reefs. 2nd ed. London 1874. p. 178.

[2]) Poggendorff's Annalen, Bd. II (1824), S. 444.

[3]) Petermann's Mittheilungen 1863, S. 268.

[4]) Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft. Bd. XIV (1862), S. 367.

müssen, zumal sonstige Argumente für eine Hebung fehlen, wohl aber sehr gewichtige Gründe für eine Senkung sprechen. Beim Bohren eines artesischen Brunnens in der Nähe von Fort William hat man nämlich bis zu mehr als 20 Meter Tiefe hinab noch eine Torfschicht gefunden und unmittelbar über und unter derselben Stämme und Zweige von röthlichem Holze, welche so gut erhalten waren, dass Wallich in ihnen sofort die Reste eines jetzt noch im Gangesdelta ausserordentlich häufig vorkommenden Baumes, Heritiera litoralis, erkannte. Uebrigens ist man in der Umgebung von Calcutta wiederholt in grösserer Tiefe auf derartige Pflanzenanhäufungen gestossen[1]). Weiter südlich an der Karomandalküste ist ein Aufsteigen des Landes bei Madras und im nördlichen Arcot beobachtet worden. Zwar liegt gerade dort an der Küste die Stadt Mahamailapur, gegenwärtig Mahabalipuram oder die sieben Pagoden, so geheissen, weil nämlich eine Pagode sichtbar im Trockenen steht, sechs dagegen in das Meer versunken sein sollen; allein schon Karl Ritter hat Zeugnisse genug gesammelt, welche das Versinken der Tempel als ein frommes Märchen erscheinen lassen. Weit lebendiger sind die geologischen Zeugnisse für eine Hebung Ceylon's, an dessen Küsten jetzt Korallenbildungen zu beträchtlicher Höhe aufgestiegen sind, so dass, wenn jene Thätigkeit nicht ermüdet, die Insel bald durch die madreporische Adamsbrücke mit dem indischen Festlande verknüpft werden wird, mit dem sie nie vorher, so weit die geologischen Zeugnisse reichen, einen Zusammenhang besessen hat, da Ceylon sich noch jetzt durch seine eigenthümlichen Thier- und Pflanzenschöpfungen als Ueberrest eines ehemaligen zertrümmerten Festlandes zu erkennen giebt.

An der Westseite Indien's heben sich nach Buist's langjährigen Beobachtungen die Gestade bei Goa, Bombay und Basain. Vor ihnen liegen die einsinkenden Atolle der Lakkadiven; sie verlängern sich südwärts nach den Malediven und den Chagosinseln, die mit ihnen ein gleiches Schicksal theilen. Ebenso müssen wir ein Hinabtauchen des Indusdelta's annehmen, um uns die Meeresbedeckung weiter Küstengebiete zur Zeit des Hochwassers und die häufigen Einbrüche des Oceans, die in der Bildung zahlreicher „inlets" einen deutlichen Ausdruck erhalten, zu erklären. Sonst aber wird ausser dem jähen Versinken des Runn von Cutch an den indischen Küsten des Arabischen Meeres nichts weiter für unsere Zwecke erwähnt.

Die Küste von Mekran, an welcher Stiffe Bohrmuscheln über der Wasserlinie fand, ist jedenfalls in Hebung begriffen[2]). Beim wei-

[1]) Sir Charles Lyell, Principles of Geology. 12th ed. London 1875. Vol. I, p. 476.

[2]) Quarterly Journal of the Geol. Soc. 1874, p. 53.

teren Fortschreiten nach Westen treffen wir im Persischen Meerbusen die Insel Kerak (Charak), von der unser grosser Naturbeschreiber Carsten Niebuhr vor mehr als hundert Jahren schon bemerkte, sie müsse aus dem Schosse des Meeres gehoben worden sein, weil sie grösstentheils „aus Korallensteinen und Muscheln bestehe“[1]).

An der Südküste Arabien's entdeckte Carter bei den Ruinen von el Balâd (nahe bei dem Vorgebirge Ras Morbat unter 54° 40′ ö. L. v. Gr. und 17° n. Br.) merkwürdige, vom Meere ausgespülte Höhlen, deren eine mit dem Fussboden kaum einen Meter, mit der Decke dagegen 9 Meter den Meeresspiegel überragte. Hier ist demnach eine Hebung constatirt, zumal sich auch Bohrlöcher mit Lithodomus-Exemplaren in der oberen Wölbung der Höhle zeigten[2]).

Ehe wir durch das Rothe und Mittelländische Meer unseren Weg nach dem Norden der Alten Welt weiter fortsetzen, schalten wir hier ein, dass von der Westseite Afrika's gar kein und von der Südostseite nur sehr spärliches Material für den Nachweis seculärer Schwankungen vorliegt. Bei Port Elizabeth und Port Natal scheint sich eine Hebung zu vollziehen; ebenso bezeugen Korallenriffe ein Aufsteigen der Mozambiqueküste, und das Gleiche gilt von Madagaskar und den vulcanischen Maskarenen (Mauritius und Réunion), während die Seychellen und Comoren, nach den vom Ufer jetzt weit ab liegenden Korallenriffen zu schliessen, dem grossen Senkungsgebiete angehören, welches sich von den Keeling-Inseln im Osten über den Chagos-Archipel bis hierher, demnach über den ganzen Indischen Ocean erstreckt. Vielleicht darf man zu dieser Senkungszone auch Sansibar rechnen, das zwar ehedem ein emporstrebendes Land war, wie die aufgefundenen Strandlinien beweisen, aber sich doch durch gewisse Erscheinungen auf den vorliegenden Inseln als ein jetzt abwärts schwebendes Gebiet verräth[3]).

Treten wir nun nach diesem Excurs in das Rothe Meer ein, so treffen wir zu beiden Seiten desselben aufsteigende Küsten. Wiederum war es Carsten Niebuhr[4]), der vor länger als einem Jahrhundert an dem Auftauchen von Korallenfelsen eine Veränderung des Seespiegels erkannte. Seitdem hat das Aufsteigen der Küsten fortgedauert; denn der alte Hafen von Dschidda, das Emporium für

[1]) Carsten Niebuhr, Reisebeschreibung nach Arabien. Kopenhagen 1778. Bd. II, S. 201.

[2]) Journal of the R. Geogr. Society of London 1854, p. 234. Vgl. F. G. Hahn, l. c. S. 42.

[3]) F. G. Hahn, l. c. S. 40 ff.

[4]) C. Niebuhr, Reisebeschreibung nach Arabien. Kopenhagen 1774 Bd. I, S. 277. Beschreibung von Arabien. Kopenhagen 1772. S. 403 f.

Mekka, der zu Niebuhr's Zeiten noch Schiffen von geringem Tiefgang zugänglich war, ist jetzt gänzlich von der See abgesperrt worden. Rüppell fand auf seiner abessinischen Reise, dass die Hebung an der arabischen Küste zwischen Dschidda und Janbo und auf der afrikanischen Seite des Rothen Meeres bei Massua 4 bis 5 Meter, bei Ras Muhammed oder an der Südspitze der Sinai-Halbinsel 10 bis 13 Meter betrage [1]; doch hat Ehrenberg bestritten, dass seit Don Juan de Castro's Fahrt im Jahre 1541 bei Massua wie bei Tôr die Küste merklich sich verändert habe. Bei Sues ist dafür nach Alfred v. Kremer [2]) die Erhebung der Küste ganz unzweifelhaft. Dort aber endigt jedenfalls das Streben nach aufwärts; denn ein Sinken der Erdoberfläche wird im Delta des Nil's deutlich sichtbar. Wir können uns nicht versagen, dem Leser den Anblick dieser merkwürdigen Erdenstelle vorzuführen (s. Fig. 47); denn wir belauschen dort das Ringen zweier ebenbürtiger Naturkräfte, einer schöpferischen und einer zerstörenden. Der Nil rückt beständig seine Uferleisten in das Meer hinaus; denn Damiette, welches 1243 noch ein Mittelmeerhafen war, ist jetzt eine Nilstadt geworden; gleichzeitig aber senkt sich die Flur des frisch angeschwemmten Landes. So sind die sogenannten Cleopatrabäder bei Alexandria bereits wieder unter Wasser gesetzt [3]; so entstand zwischen dem Mariut- und Edku-See die Lagune bei Abukir 1784 durch einen Einbruch des Meeres; so ist endlich der ehemals dicht bewohnte Boden des Mensaleh-Sees überschwemmt worden, und noch jetzt sieht man dort nach Versicherung Sir Gardner Wilkinson's unter dem Wasser nicht nur die versunkenen Ortschaften, sondern auch noch die hohen Uferleisten der ehemaligen Nilarme [4].

Auch weiter westwärts sind überall Senkungen zu beobachten. Die am Meere gelegenen Ruinen der Cyrenaica rücken immer mehr in dasselbe hinein. Ein See bei Bengasi, welchen Barth auf seiner ersten Reise durch die Mittelmeerländer als Süsswassersee erkannt hatte, war später mit Salzwasser erfüllt. Leptis Magna (Lebida, östlich von Tripolis) ist bereits zum Theil unter Wasser gesetzt, zum Theil von den Dünen verschlungen, welche das Meer ausgeworfen hat. Die Stadt Tripoli, welche früher längs des Meeres noch einen breiten und gehbaren Strand hatte, wird jetzt unmittelbar von den Wogen bespült;

[1]) Eduard Rüppell, Reise in Abyssinien. Frankfurt a. M. 1838. Bd. I, S. 140 ff. Vgl. hierzu auch Gerhard Rohlfs, Quer durch Afrika. Leipzig 1874. Bd. I, S. 207.

[2]) Aegypten. Leipzig 1863. Bd. I, S. 35.

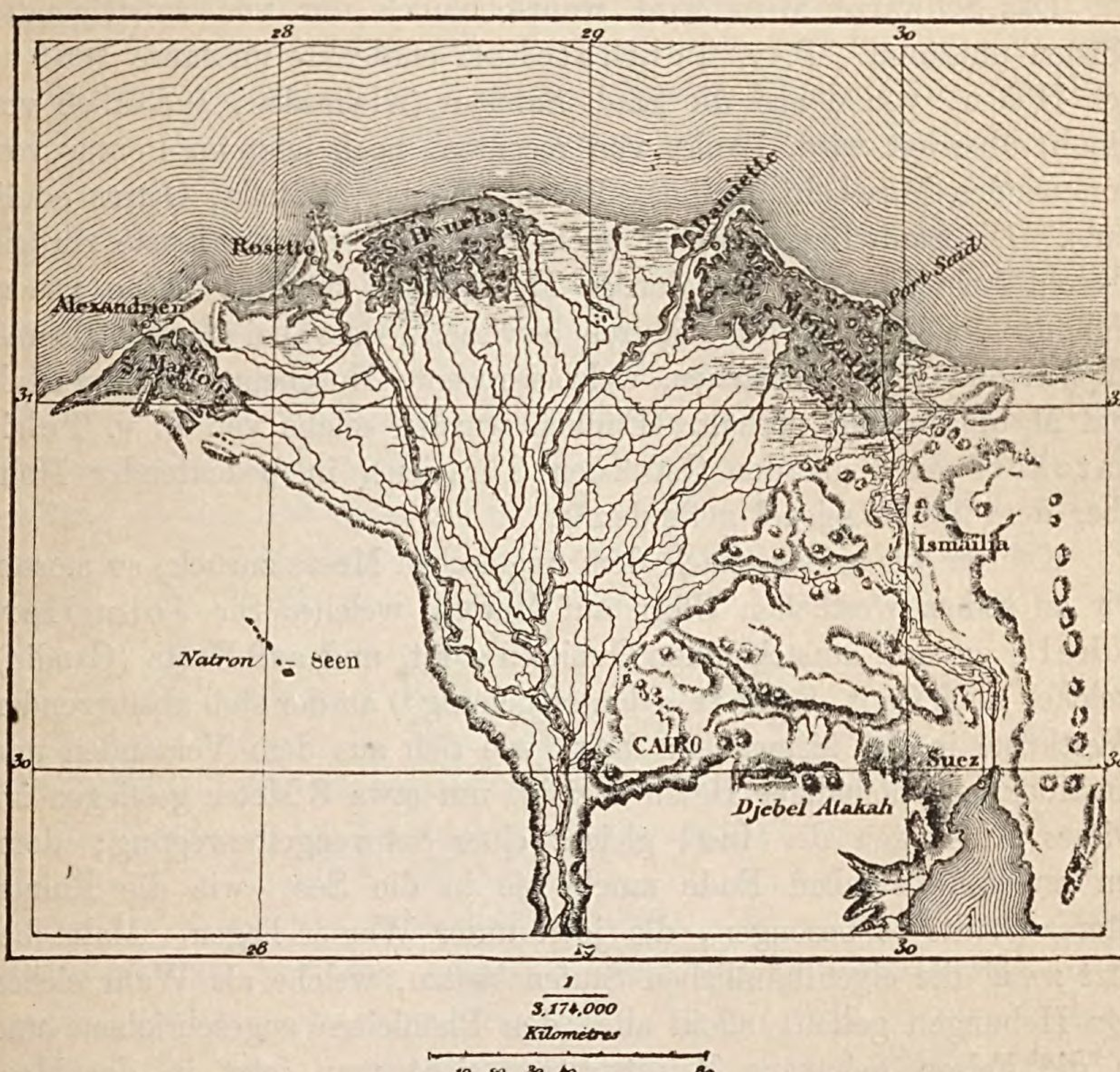
[3]) Der dortige Vorgang ist neuerdings sehr glücklich beschrieben worden von O. Fraas, Aus dem Orient. Stuttgart 1867. S. 178.

[4]) Sir Charles Lyell, Antiquity of Man. 2nd ed. London 1863. p. 35.

seit 30 Jahren hat sich der Boden dort sicher um $1/3$ Meter gesenkt. Ferner liegt ein Theil der Ruinen von Sabratha im Wasser. Doch scheint sich das Senkungsgebiet nur bis zum Golf von Gabes zu erstrecken, da an der tunesischen Küste bereits wieder Hebungen beobachtet worden sind [1]).

An der syrischen Küste dringt nur bei Beirut die See siegreich

Fig. 47.



Das Nildelta.

ein; dafür ist bei Jafa ein Aufsteigen von Oscar Fraas erkannt worden [2]), und Tyrus (Sur), zu Skylax' Zeiten noch eine Insel drei Stadien von der Küste entfernt, ist, seit Alexander der Grosse bei seiner Belagerung einen Damm errichtete, mit dem Festlande durch eine Landzunge verbunden geblieben. Endlich droht dem Issischen Meerbusen, den wir jetzt den Golf von Iskanderun (Alexandrette) nennen,

[1]) Gerhard Rohlfs, Quer durch Afrika. Bd. I, S. 207.
[2]) O. Fraas, l. c. S. 45.

eine rasche Ausfüllung. Auch das Aegäische Meer scheint von der kleinasiatischen Seite aus eingeengt zu werden; wenigstens wird behauptet, dass die Städte Ephesus, Smyrna und Troja oder das, was man für ihre Trümmer ansieht, landeinwärts gerückt worden seien. Mitten in diesen aufsteigenden Gebieten treffen wir nur auf ein einziges kleines Senkungsfeld an der Küste des alten Lycien's, wo antike Bauten bei Telmissos sowie am Chelidonischen Vorgebirge jetzt unter Wasser stehen [1]).

Das Schwarze Meer wird wahrscheinlich nur von aufsteigenden Küsten umsäumt. P. v. Tchihatcheff entdeckte im Jahre 1854 an den Höhen, von denen die Stadt Samsun (Kleinasien, südöstlich von Sinob) überragt wird, Bänke von recenten, noch jetzt im Pontus vorkommenden Muscheln (Tellina, Pecten, Venus, Rotella, Ostrea edulis var.). Die Stadt Batum weicht mehr und mehr von der Küste zurück, obwohl kein Fluss in die dortige Meeresbucht mündet. Eine neuere Hebung der Krim wird dadurch bewiesen, dass bei Sudak Meeresklippen aus Gestein bestehen, welches recente Muscheln (Cardium edule und Mytilus edulis) enthält. Endlich wurden solche von P. v. Tchihatcheff auch an den Ostküsten Thracien's in bedeutender Höhe über dem Meeresspiegel gefunden [2]).

Kehren wir wieder nach dem Aegäischen Meere zurück, so stossen wir an seinen westlichen Ufern auf Morea, welches Sir John Herschel [3]) zu den aufsteigenden Gebieten zählt, und auf Kreta (Candia), welches nach Capt. Spratt's Untersuchung [4]) an der steil abstürzenden Westküste in der historischen Zeit, wie sich aus dem Versanden und Austrocknen ehemaliger Häfen ergiebt, um etwa 8 Meter gestiegen ist. Dieses Aufsteigen der Insel gleicht einer Schwengelbewegung; denn am anderen östlichen Ende taucht sie in die See, wie die Ruinen älterer Städte es bezeugen, die jetzt unter Wasser liegen. Malta besitzt zwar die eigenthümlichen Stufenabsätze, welche als Wahrzeichen von Hebungen gelten; allein alte, den Phöniciern zugeschriebene und in die Felsen gehauene Kunststrassen sieht man jetzt in das Meer hinabtauchen [5]). An der Südküste Sicilien's wurden Spuren eines Aufstrebens, namentlich im Val di Noto, von Sir Charles Lyell aufgefunden, und an der Nordküste (bei Palermo) hat Fr. Hoff-

[1]) Fischer in der Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin. Bd. XIII (1878), S 159.

[2]) Rudolf Credner, Die Deltas (Ergänzungsheft Nr. 56 zu Petermann's Mittheilungen 1878). S. 69 f.

[3]) Physical Geography of the Globe. 5th ed. Edinburgh 1875. p. 90.

[4]) Journal of the R. Geogr. Society of London 1854, p. 238 sq.

[5]) C. F. Wiborg, Einfluss der classischen Völker auf den Norden. Hamburg 1867. S. 4.

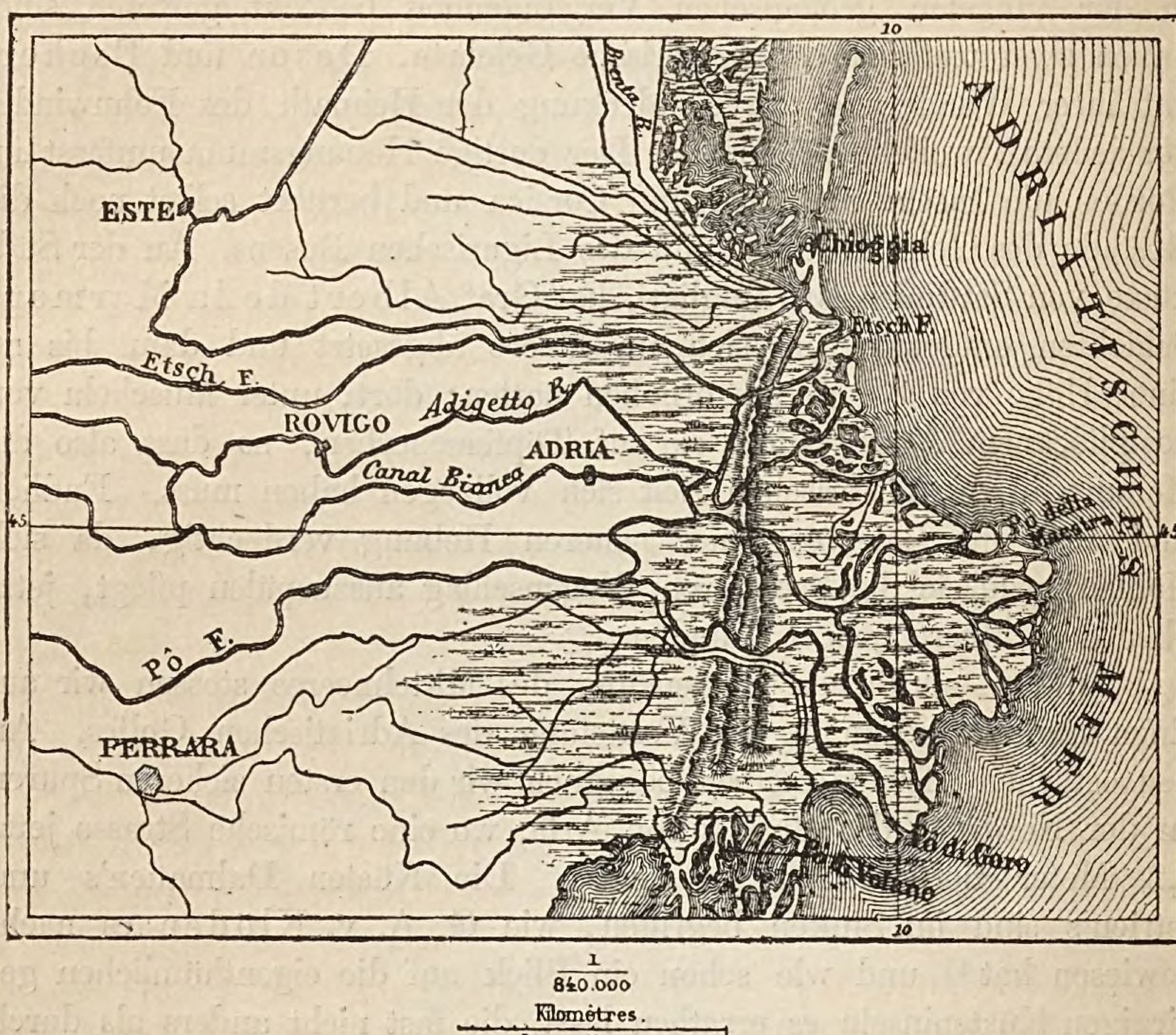
mann bis zu 55 Meter Höhe eine Ablagerung von Meeressand und Geröllen gefunden, in denen zahlreiche Gehäuse von recenten Muscheln eingeschlossen waren [1]). Die fortschreitende Versandung der Häfen von Palermo, Syrakus und Girgenti ist ohne Zweifel auf das Aufsteigen der Insel zurückzuführen. An der dortigen Hebung nehmen auch die benachbarten Küsten von Nordafrika mit Antheil, wie die Versandung der Häfen von Carthago und von Tunis beweist. Bis nach Gabes an der Kleinen Syrte wird ein Aufsteigen der Küsten beobachtet. Dass grosse Räume der nördlichen Sahara vom Meere noch in der jüngsten geologischen Vergangenheit bedeckt gewesen sind, haben zwei treffliche schweizerische Gelehrte, Desor und Escher, auf ihrer Wanderung zur Entdeckung der Heimath des Föhnwindes vor jedem Zweifel gesichert [2]). Der dortige Hebungsraum umfasst im Norden die Inseln Sardinien und Corsica und berührt selbst noch die Gestade des Golfs du Lion und des Ligurischen Busens. An der Südküste von Sardinien, bei Cagliari, hat Graf Albert de la Marmora Schichten entdeckt, die sich im Meere abgesetzt und dann bis zu einer Höhe von 38 Metern erhoben hatten; dort, unter Muscheln von postpliocänem Alter, stiess er auf Töpferscherben, so dass also die Hebung in der historischen Zeit sich vollzogen haben muss. Endlich sind auch die Balearen einer neueren Hebung verdächtig, da sich Höhlen, wie sie die See durch Wogenschlag auszuspülen pflegt, jetzt über dem Meeresspiegel befinden.

An der nördlichen Begrenzung des Mittelmeeres stossen wir auf einen Senkungsraum in der Vertiefung des Adriatischen Golfes. An den östlichen Ufern desselben begegnen wir den ersten sicheren Spuren an der Nordseite des Busens von Arta, wo eine römische Strasse jetzt 1,2 Meter tief im Wasser steht [3]). Die Küsten Dalmatien's und Istrien's sind im Sinken begriffen, wie G. A. v. Klöden es nachgewiesen hat [4]) und wie schon ein Blick auf die eigenthümlichen gebirgigen Küsteninseln es errathen lässt, die fast nicht anders als durch Ueberschwemmung ehemaliger Längen- und Querthäler entstanden sein können. Bei Triest, bei Pola, bei Zara und an anderen Stellen erblickt man unter dem Meeresspiegel verschiedene Menschenwerke, wie Strassenpflaster, Mosaike, Sarkophage. Auf der anderen Seite des Adriatischen Meeres ist die Senkung deutlich wahrnehmbar im Lagunengebiet. Das beifolgende Kärtchen [5]) (Fig. 48) lässt uns sofort erkennen,

[1]) Fr. Hoffmann, Hinterlassene Werke. Bd. II, S. 425.
[2]) E. Desor, Aus Sahara und Atlas. Wiesbaden 1865. S. 46 ff.
[3]) Petermann's Mittheilungen 1871, S. 174.
[4]) Poggendorff's Annalen, Bd. XLIII (1838), S. 361—382.
[5]) Aus Élisée Reclus, La Terre. Paris 1868. Tome I, p. 502.

dass der Lido vor Venedig nur eine alte Dünenkette ist, die sich in das gemeinsame Delta des Po und der Etsch noch fortsetzt und durch welche das Meer eingebrochen ist. Beim Bohren eines artesischen Brunnens in Venedig wurde 1847 erst in 122 Meter Tiefe die Anschwemmungsschicht völlig durchsunken. Ganz unten stiess der Bohrer auf ein Torflager und Pflanzenreste, wie sie sich noch jetzt oberflächlich an den adriatischen Gestaden anhäufen; folglich hat dort eine

Fig. 48.



Po- und Etschdelta.

Senkung von 122 Metern stattgefunden[1]). Die Inseln, auf denen Venedig erbaut wurde, sind seit dem 16. Jahrhundert um etwa einen Meter gesunken, wie dies aus der Lage der aufgedeckten alten Strassenpflaster geschlossen werden darf. Auf der Insel San Giorgio hat man unter dem Spiegel des Lagunenwassers römische Baureste gefunden, und an der Stelle, wo im Mittelalter die Stadt La Concha stand (un-

[1]) Sir Charles Lyell, Principles of Geology. 12th ed. London 1875. Vol. I, p. 422.

weit Rimini), erblickt man bei ruhiger See die Ueberreste von zweien ihrer Thürme in den Fluthen. An der venetianischen Küste wiederholt sich übrigens das nämliche Schauspiel wie im Nildelta; denn unbekümmert, ob die Küste sinkt, dauern die Anschwemmungen von Seiten der Etsch und des Po fort, so dass, während der Boden unter Venedig weicht, Ravenna, ein Hafenplatz zur Gothenzeit, gegenwärtig eine Binnenstadt geworden ist.

Schliesslich sei noch ein letztes Hebungs- und Senkungsgebiet an den Ufern des Mittelmeeres erwähnt: das von Algier. Hier finden sich an dem kleinen Meerbusen von Sidi Daoua (östlich von Mostaganem) die Ueberreste einer römischen Stadt auf einer unbequemen, wasserlosen und unsicheren Terrasse in einiger Entfernung vom Meere, wohin jene Stadt von den Römern sicher niemals gebaut worden ist[1]. Verständlich wird uns diese Anlegung nur, wenn wir für den Zeitraum von ihrer Gründung an bis jetzt eine Hebung der dortigen Küste von 6 bis 7 Meter annehmen. Weiter ostwärts (etwa von Algier ab) scheint ein kleines Senkungsfeld zu liegen, das sich jedoch keinesfalls bis an die Grenzen von Tunis erstreckt.

Verlassen wir das Mittelländische Meer, um die atlantischen Küsten unseres Erdtheiles aufzusuchen, so treffen wir an den Ufern der Iberischen Halbinsel keinerlei gut beglaubigte Hebungen und Senkungen; nur an der spanischen Nordküste scheinen versunkene Wälder für eine neuere Senkung zu sprechen. Die West- und Nordwestküste Frankreich's weist fast nur Senkungsgebiete auf. Bei Biarrits begegnen wir nochmals versunkenen Wäldern; das Fort Cartin bei Arcachon ist seit 1790 nach und nach vom Meere weggespült worden. Die Felseninsel, auf welcher sich der Leuchtthurm von Cordouan erhebt (Gironde-Mündung), hat seit zwei Jahrhunderten an Umfang beträchtlich verloren; ja, die Senkung ist bereits so weit vorgeschritten, dass die Grundmauern des Leuchtthurmes von der Fluth benetzt werden. Der Landzuwachs an den Küsten des Aunis und der Vendée darf wohl kaum einer Hebung des Landes zugeschrieben werden, da man an der Mündung der Charente Bauwerke unter dem Wasserspiegel gefunden hat. Aehnliche Erscheinungen bezeugen das Hinabtauchen der Ufer an der Bucht von Morbihan und dem Golf von Douarnenez.

Auf der französischen Seite des Canals hat die Insel Jersey, namentlich das Kirchspiel St. Ouen, starke Verluste erlitten, und die See zehrt auch an der normännischen Küste vor Coutances, dessen Flüsschen ehemals nach älteren Urkunden bei Roqui (oder Ranqué,

[1]) Bull. de la Soc. de Géogr. Sér. VI, Tome I, p. 34—57.

Ranquet) mündete, wie jetzt eine Klippe heisst, welche eine halbe deutsche Meile in der See liegt. Landverluste sind ferner bei St. Malo etwas Häufiges, und zwar kennt man dort eine ganze Reihe grösserer Einbrüche der See von 709 bis 1827, die Peacock im Jahre 1866 ausführlich vor der Londoner geographischen Gesellschaft geschildert hat. Mag hier auch der Anprall der Fluthwellen nicht wenig zur Zerstörung des Landes beitragen, so wird doch durch unterseeische Wälder bei Morlaix, St. Malo und anderwärts, durch unterseeische Torfmoore und Bauwerke an zahlreichen Stellen der Normandie eine thatsächliche Senkung bewiesen. Zwischen Boulogne und Dunkerque trifft man auf alte Strandlinien; doch rühren diese jedenfalls aus vorhistorischer Zeit. Im Gegentheil hat Sir Charles Lyell in „Antiquity of Man" aus geologischen Gründen eine Bodensenkung an der Mündung der Somme annehmen zu müssen geglaubt.

Die Südküste England's erleidet (wenigstens zum Theil in Folge seculärer Senkung) im allgemeinen eine Zerstörung mit Ausnahme einer Strecke an der Westspitze, wo bei Plymouth durch ehemalige Strandstufen und bei New-Quay in der Nähe von Falmouth Symptome einer (jedenfalls älteren) Erhebung sichtbar sind. Auch Irland scheint dem besprochenen Senkungsgebiete anzugehören. Von den Uferbewohnern der Grafschaft Donegal erfuhr W. Harte, dass Küstentheile, über welche deren Grossväter noch trockenen Fusses hinwegschreiten konnten, jetzt von 6 Meter tiefem Wasser überfluthet seien; Wälder und Gebäude fand er unter der Hochwassermarke [1]).

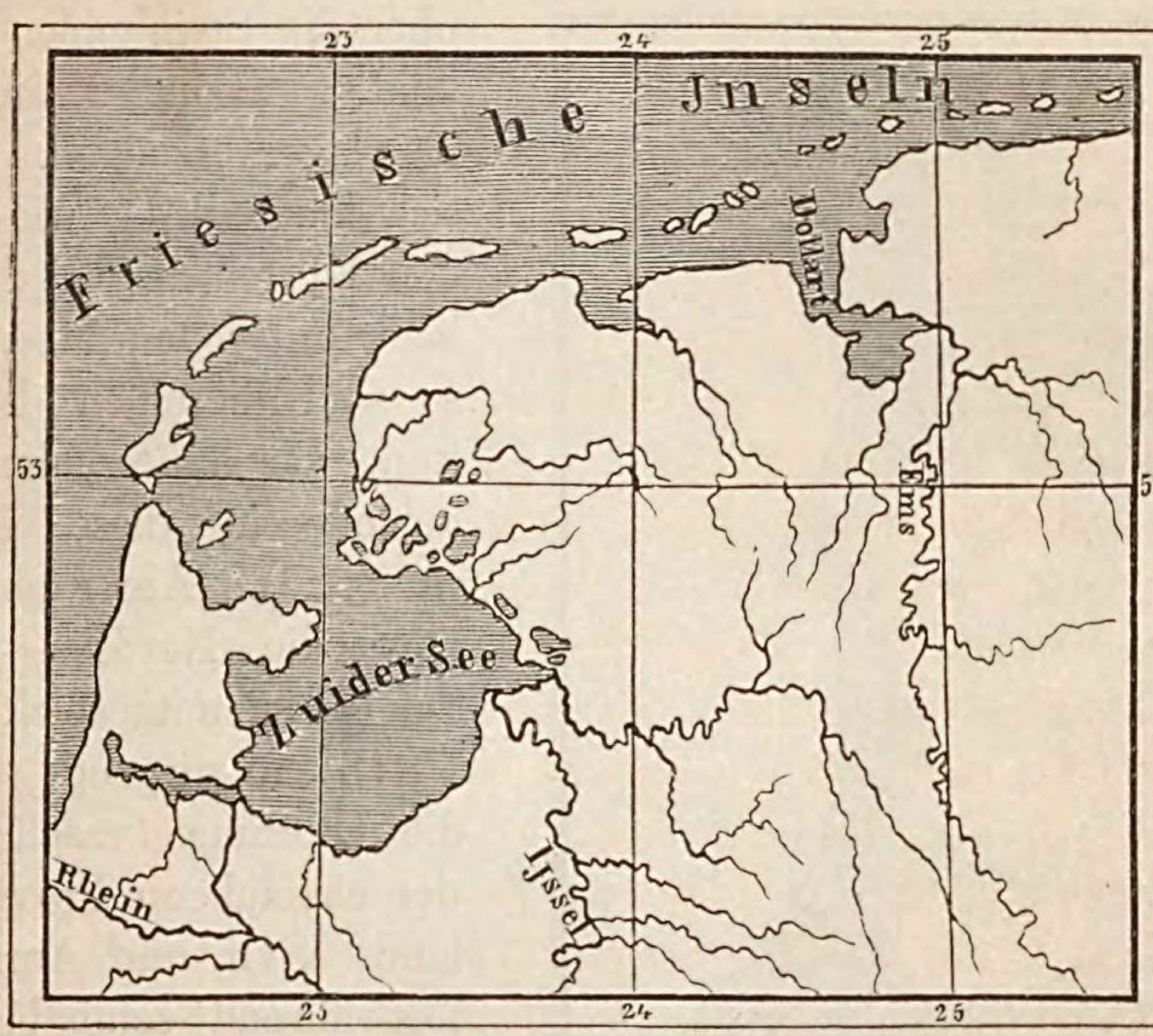
Treten wir zum Canal hinaus, so treffen wir auf die heftigsten Verwüstungen, welche gegenwärtig die Geschichte unseres Planeten kennt, nämlich auf das Eindringen der Nordsee gegen ihre Südufer. Die Niederlande lägen wohl längst schon im Meere begraben ohne die bewunderungswürdigen Küstenbefestigungen der Holländer, hinter denen sie im Trockenen sitzen, wenn auch bei anhaltenden Nordwestwinden die Fluthwellen im Lek bei Vianen $5\frac{1}{2}$ Meter höher steigen mögen als das Strassenpflaster Amsterdam's. Dennoch sind sie nicht vor allen Bedrohungen sicher; denn erst im Jahre 1825 ergoss sich ein Wogenschwall über Nordbrabant, Gelderland, Overijssel und Friesland. Unbestritten bleibt es, dass die Senkung des niederländischen Gebietes bis in die historischen Zeiten fortgedauert hat; wir erinnern nur an die Bildung der Zuyder-See [2]), welche erst im 13. Jahrhundert eintrat. Ebenso fand an der Küste zwischen Holland und der Elbe der Ein-

[1]) Nature, Vol. X, Nr. 240. 4. June 1874, p. 94.

[2]) Siehe darüber Friedr. v. Hellwald, Die Zuyder-See (Mittheilungen der geogr. Gesellschaft in Wien 1870, S. 249—265).

bruch des Dollart am 12. Januar 1277 statt. Die älteste bekannte Fluth im Jeverlande (westlich vom Jadebusen) ist die von 1066; sie führte die busenartige Erweiterung der Jade herbei und zerstörte das von einem Nachkommen Wittekind's erbaute Schloss Mellum, dessen Namen noch heute eine Sandbank an der Einfahrt des Meerbusens führt. Ueberhaupt berichten uns die Urkunden aus dem 12. und 13. Jahrhundert über eine lange Reihe vernichtender Fluthen, welche über die Nordwestecke Deutschland's hereinbrachen [1]). Guthe berechnet in seiner lehrreichen Beschreibung der Welfenlande den Verlust an

Fig. 49.



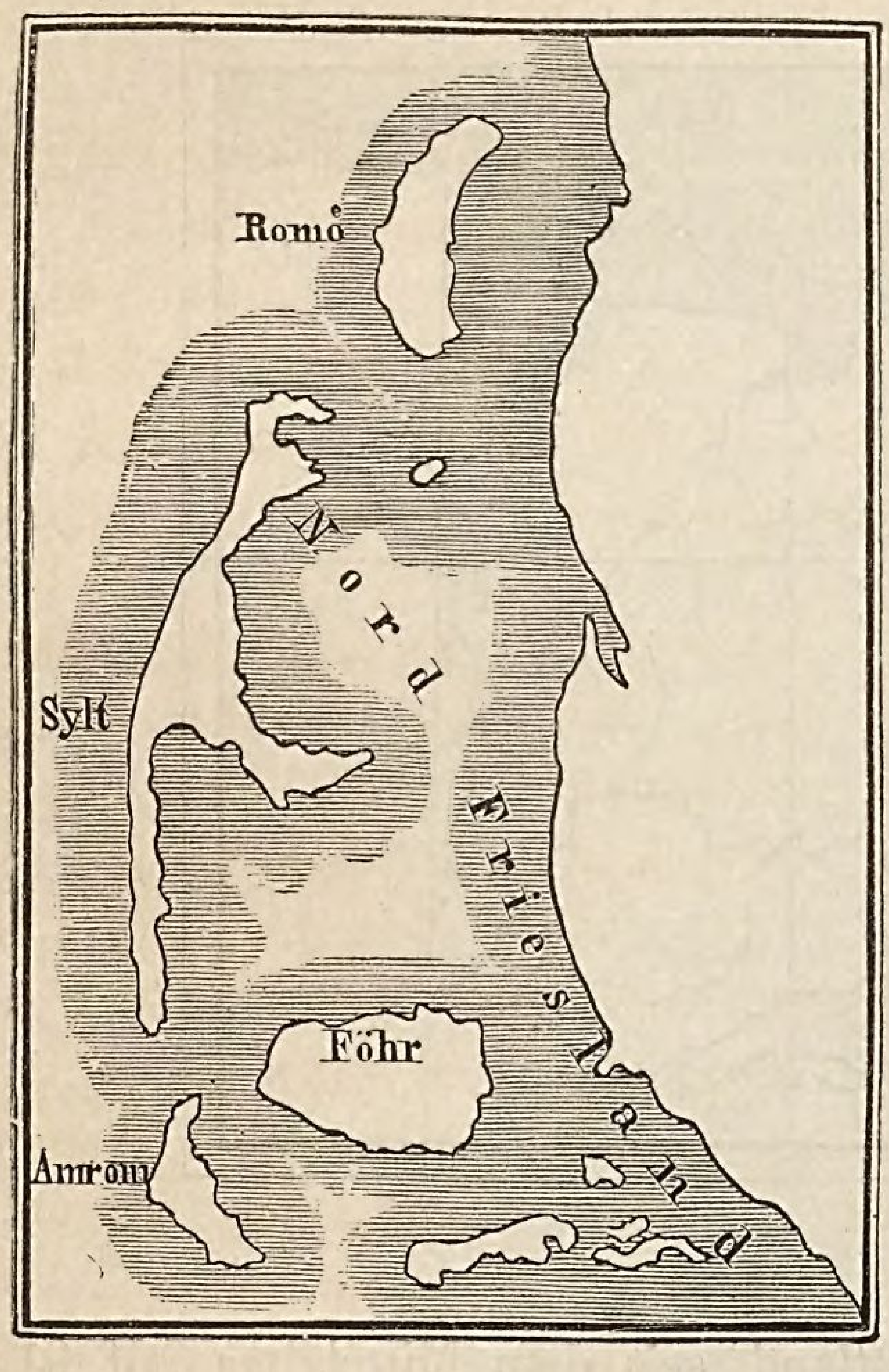
Marschland von Flandern bis Jütland seit dem Mittelalter auf 91,8 deutsche Quadratmeilen, von denen man künstlich nur 47 Quadratmeilen zurückerobert hat [2]). Die Küsteninseln zwischen Texel und der Elbmündung, deren Plinius 32 zählte, haben sich um den dritten Theil vermindert und bezeichnen uns den alten Küstenrand Deutschland's gegen Norden (s. Fig. 49). Dass die übrig gebliebenen Inseln ehemals viel grösser waren, beweist unter anderem für Borkum der Fund von Brunnen und Urnen auf einer Aussensandbank, sowie das

[1]) Bader in Jever, Aus der Nordwestecke Deutschland's in: Aus allen Welttheilen 1872, S. 358 f.

[2]) Hermann Guthe, Die Lande Braunschweig und Hannover. Hannover 1867. S. 29.

unaufhaltsam fortschreitende Abzehren von Helgoland, das im Jahre 800 noch eine Grösse von $1^1/_2$ Quadratmeilen gehabt haben soll, während es jetzt nur noch ein Areal von 0,23 Quadratmeile einnimmt. Dass sich Deutschland bis zur Helgoland-Insel einst erstreckt haben möge, dafür lässt sich als Beweis anführen, dass auf den ostfriesischen Inseln Bernstein vom Meere angespült wird; denn wo dies geschieht, muss nothwendiger Weise ein ehemals trockenes Land, welches die Bernsteinhölzer trug, in das Meer hinabgetaucht sein. Auch durch andere Pflanzenbildungen wird die Senkung bestätigt. „Auf dem Grunde des Meeres,“ sagt Geinitz in dem grossen Werke über die Steinkohlen Deutschland's, „können sich keine Torflager erzeugen. Befinden sich hie und da, wie z. B. an den Küsten der Nordsee, Torflager unter dem Meeresspiegel, so sind dieselben durch Senkung der anliegenden Strandgelände in diese Lage gerathen“ [1]). Am rauhesten hat aber die Nordsee jedenfalls Schleswig mitgespielt (s. Fig. 50); denn nirgends wechselten die Uferlinien rascher als in der ehemaligen Provinz Friesland. Sylt und Amrom sind fortwährend schmäler geworden; Nordstrand, ehemals ein Theil des Festlandes, wurde 1240 eine grosse Insel und dann durch Ueberfluthung 1634 zerrissen. Man tröstet sich so gern, dass das Meer den Schaden durch Anschwemmungen an anderen Stellen ersetze, und wohl geschieht dies auch; nur sollte man nicht vergessen, dass die See mit solchem Erfolge nur ein sinkendes Land angreift. Dass dem plötzlichen Einbruche des Meeres stets ein Sinken der Küste vorausgehe, konnte bei Schleswig archäologisch erwiesen werden; denn beim Ausgraben eines Canals in der Nähe von Husum stiess man auf einen unterseeischen Birkenwald

Fig. 50.



[1]) H. B. Geinitz, H. Fleck und E. Hartig, Die Steinkohlen Deutschland's und anderer Länder Europa's. München 1865. Bd. I, S. 12.

und in diesem Walde auf einen Grabhügel mit Feuersteingeräthen 97 bis 114 Centimeter unter dem Meeresspiegel.

Was Jütland betrifft, so hat Forchhammer den Nachweis zu führen gesucht[1], dass derjenige Theil, welcher nördlich der Linie Nissumfjord—Nyborg—Möen liegt, im Heben begriffen sei. Hierfür sprechen zahlreiche Strandgeschiebe und Schalen noch lebender Meeresthiere, welche an Orten vorkommen, wohin kein Wellenschlag reicht, vor allem aber viele Ortsnamen, die auf holm (Gudumholm, Klarupholm, Trandersholm), oder œ (Aalsœ) enden, welche Orte mit ihrer Feldmark jedenfalls Inseln waren, aber nicht mehr sind, sowie Sunde (wie der Kolindsund), die jetzt Binnenseen sind[2]. Auch hat man in einem Moore bei Eskjär, weit im Lande, Anker und ein Boot gefunden.

Bestätigt gilt uns ferner, dass das südliche Schweden oder Schonen deutliche Spuren des Sinkens zeigt. In Malmö, dessen Strassen bisweilen von der See überfluthet werden, hat man ein altes Pflaster 2,6 Meter unter dem jetzigen entdeckt und in Trelleborg ebenfalls ein solches in 1 Meter Tiefe. Bei Ystad ist der Seestrand im Laufe von etwa 1000 Jahren um 3 Meter gesunken, wie antiquarische Funde beweisen[3].

Auch die baltischen Küsten Deutschland's sind stark gesunken. Unterseeische Torfmoore und vom Meere überfluthete Wälder, welche noch aufrecht stehende Stämme zeigen, sprechen für eine Senkung der Küsten von Holstein, Pommern und Preussen; Landverluste sind hier nichts Seltenes. So war die Insel Rügen ehemals fest, und erst 1510 bildete sich bei Pillau die Oeffnung des Frischen Haffes 3390 Meter breit und 23 bis 28 Meter tief. Wahrscheinlich in Folge einer ehemaligen Senkung haben alle unsere grossen Ströme eine Achtelswendung nach Norden ausgeführt. So floss ursprünglich die Oder durch die Havelseen und das Elbebett in die Nordsee, als die Elbe noch im heutigen Aller- und Weserbette strömte und die Weser selbst durch den Jadebusen sich in's Meer ergoss, bis sich durch das Sinken der baltischen Küsten das Gefäll änderte und unsere Ströme in eine mehr nördliche Richtung gedrängt wurden.

An den Küsten von Livland und Esthland sind nur schwache Zeichen einer vor sich gehenden Hebung zu beobachten; um so deut-

[1]) Forchhammer in Oversigt over det Kongelige Danske Videnskabernes Selskabs Forhandlinger for Aarene 1840 og 1841 (Kjöbenhavn 1842), p. XXV. — Poggendorff's Annalen, Bd. XLII (1837), S. 476 ff.

[2]) Letzterer ist in neuerer Zeit trocken gelegt worden.

[3]) A. de Quatrefages in der Revue des deux Mondes. Tome LXXXVII (1870), p. 119.

licher treten sie uns jenseits des Finnischen Meerbusens in Finnland entgegen. Das Aufsteigen der finnischen Küsten beweisen nicht nur die regelmässigen, wallartigen, langgestreckten Streifen völlig abgerundeten Gerölles krystallinischer Gesteinsarten auf sanft geneigten Hügeln an der Küste, Streifen, die uns offenbar die ehemalige Strandlinie verrathen, sondern auch viele Ortsnamen, welche mit Holm (kleine Insel), Oe (Insel), Sund (Meerenge, Durchfahrt), Wiek (Meeresbucht) enden, aber durchaus keine im oder am Meere gelegenen Orte bezeichnen. Die Traditionen der Uferbewohner nöthigen zu der Annahme, dass dieses Sinken des Meeresspiegels auch jetzt noch stattfindet. Wir besitzen sogar zuverlässige Messungen an der Küste Finnland's aus der zweiten Hälfte des vorigen und der ersten Hälfte dieses Jahrhunderts. Prof. Hällström hat sie in den Acta societatis scientiarum Fennicae, Tome I, mitgetheilt, und hiernach beträgt die Hebung

bei Sveaborg	von	1800	bis	1840	0,24	Meter[1]),
„ Jussarö	„	1800	„	1837	0,22	„
„ Hangö-Udd	„	1754	„	1837	0,50	„
„ Åbo	„	1750	„	1841	0,52	„

Bei einer neuen Meeresaufnahme zwischen Åbo und den Ålands-Inseln im Jahre 1860 fanden sich 83 neue Bänke und Untiefen, welche auf den älteren Seekarten fehlten. Nun erscheint es aber kaum glaubhaft, dass man bei den früheren Aufnahmen so viele für die Schifffahrt doch immerhin sehr beachtenswerthe Objecte vergessen haben sollte; es liegt daher nahe, eine Vermehrung derselben in Folge seculärer Hebung anzunehmen[2]).

An der schwedischen Seite des Bottnischen Busens hat bereits L. v. Buch eine Hebung ausser Zweifel gestellt. Zwischen Seivits und Nikkala (nicht weit von Haparanda) passirte er zwei austrocknende Meerbusen auf Brücken, nicht auf Booten, wie es die französischen Mathematiker 1736 gethan hatten[3]). Bei Innervik (in der Nähe von Skellefteå) fand er einen schmalen Meerbusen, über den man wenige Jahre vorher noch mit Booten fahren konnte, der aber nun so weit ausgetrocknet war, dass die Strasse darüber hat hingeführt werden können[4]). Im Sommer des Jahres 1834 bereiste Sir Charles Lyell Schweden (bis Gefle), und er bestätigte, wie bereits früher er-

[1]) Vgl. G. Helmersen's Denkschrift über das langsame Emporsteigen der Ufer des Baltischen Meeres im Bulletin der phys.-mathem. Classe der Petersburger Akademie, Bd. XIV, Nr. 325.

[2]) Petermann's Mittheilungen 1862, S. 272.

[3]) L. v. Buch, Reise durch Norwegen und Lappland. Berlin 1810. Bd. II, S. 278.

[4]) l. c. Bd. II, S. 289.

wähnt, das Aufsteigen jener Küsten [1]). Der Hafen von Gefle erwies sich bereits 1834 für die Schifffahrt zu seicht, weshalb man damit umging, ihn zu verlegen. Zwischen Gefle und Oeregrund breiten sich überall am Meeresufer zwischen waldbedeckten Bergen flache Wiesen aus, welche, wie dem englischen Forscher auf's Bestimmteste versichert wurde, noch im vorigen Jahrhundert vom Meere überfluthet waren. Nach Sir Charles Lyell's Untersuchungen beträgt die Hebung der Küste im Jahrhundert bei Sundsvall ($62^1/_3{}^0$ n. Br.) 1,36 Meter (Maximalwerth), bei Gefle 0,85 Meter, in der Gegend von Stockholm 0,24 Meter, bei Kalmar 0,16 Meter (Minimalwerth). Bei Sölvesborg (westlich von Carlskrona) erlischt die Bewegung gänzlich, um südlicher in ihren Gegensatz überzugehen.

Am Sund scheint bereits bei Landskrona und Helsingborg, wie aus dem raschen Versanden der dortigen Häfen geschlossen werden darf, die Hebung wieder zu beginnen. Nördlich von Götheborg ist sowohl durch eine Wassermarke [2]), wie durch hoch über der Fluthlinie liegende recente Muscheln ein Aufsteigen der Küste ausser Zweifel gestellt. Bei Christiania und Cap Lindesnæs wird keine solche Schwankung wahrgenommen. Doch sind Hebungen nachgewiesen worden von Bergen an, wo noch ein Aufsteigen um 3 Meter in tausend Jahren genügend beglaubigt worden ist, bis zur Altenbay bei Hammerfest, wo alte Strandlinien und Seemuscheln bis zu 200 Meter Höhe sich erheben. Freilich fehlen uns sichere Thatsachen für die Fortdauer der Erhebung; vielmehr haben wir ein unantastbares Zeugniss dafür, dass bei Throndhjem die Küste in den letzten 850 Jahren nicht aufgestiegen ist. Vor dieser Stadt liegt nämlich die kleine Insel Munkholm, deren höchster Punkt 7 Meter über der mittleren Meeresfluthhöhe, d. h. auf dem Durchschnitt zwischen Nipp- und Springfluthen liegt und wo Kanut der Grosse im Jahre 1028 ein Kloster erbauen liess. Wäre dort die Küste nur um einen mässigen Betrag gestiegen, so hätte im Jahre 1028 das Kloster unter der mittleren Fluthhöhe oder wenigstens unter der Hochwasserlinie erbaut worden sein müssen, was natürlich unglaublich erscheint [3]).

Zu dem nordeuropäischen Erhebungsraum gehören auch Schottland und die Westküsten Grossbritannien's, an denen die ehemaligen Uferlinien und Stufenabsätze auf Höhen von 365—550 Metern in der

[1]) Philosophical Transactions of the R. Soc. of London. Vol. CXXV (1835), p. 1—38.

[2]) Sie wurde 1770 angebracht und 1834 von Sir Charles Lyell, 1866 von Lord Selkirk 0,7, resp. 0,9 Meter über der Meeresfläche gefunden.

[3]) Sir Charles Lyell, Principles of Geology. 12th ed. London 1875. Vol. II, p. 194 sq.

Nähe des Snowdon sich erhalten haben. Dass aber diese Hebung in Schottland noch bis auf unsere Tage fortdauere, hat man daraus schliessen wollen, dass die Pictenmauer des Antoninus an ihren beiden Endpunkten, dem Firth of Forth und Firth of Clyde, nicht mehr die See erreiche, sondern durch eine Erhebung des Landes um 8 Meter von der Küste zurückgewichen sei; denn wie hätte der Wall die römischen Provinzen vor den Einbrüchen der Caledonier schützen sollen, wenn noch ein Zwischenraum zwischen See und Mauerende offen gelassen worden wäre? Immerhin könnte man sich denken, dass selbst dann noch die Römer die Zwecke ihrer Befestigung erfüllt gesehen hätten, wenn nicht die Erhebung des Bodens durch Gen. Roy bestätigt worden wäre, der bei Falkirk Römerbauten aufgedeckt und als alte Docks erkannt hätte, die jetzt landeinwärts im Trockenen stehen. Die Ostküste England's nimmt an diesem Aufsteigen nicht mehr Theil. Was sich nämlich dort verändert, scheint nur einem Spiel der See zugeschrieben werden zu müssen, die so gern unbeschützte Küsten benagt, um anderen den Raub zur Vergrösserung zuzuwenden. So haben die Grafschaften Sussex und Kent wohl viel Land eingebüsst, und man würde daraus auf ein örtliches Sinken schliessen dürfen, wenn nicht gleichzeitig in der Nähe ein Küstenwachsthum stattgefunden hätte. So hat einer der grössten Kenner des britischen Mittelalters, der Oxforder Professor Rogers, in seiner Geschichte der Preise bewiesen, dass Beccles in Suffolk noch im 14. Jahrhundert ein besuchter Hafen war. Jetzt vertritt seinen ehemaligen nautischen Beruf Lowestoft, von welchem binnenwärts Beccles volle zwei deutsche Meilen entfernt liegt.

IX. Ueber die Verschiebungen der Welttheile seit den tertiären Zeiten [1].

Wenn wir auf einer Erdkarte alle Küsten, an denen eine Senkung und ein Landverlust in jüngeren Zeiten und ebenso alle Küsten, an denen ein Wachsthum des Landes oder ein senkrechtes Aufsteigen wahrgenommen wird, durch verschiedenfarbige Ränder uns bezeichnen (s. Fig. 45), um zu einem Gesammtüberblick dieser Erscheinungen zu gelangen, so erhalten wir den Eindruck, als ob sich beide Bestrebungen das Gleichgewicht hielten. Ein gegenseitiges Ausgleichen der Bewegungen nach aufwärts und nach abwärts darf auch daraus geschlossen werden, dass längs derselben Küste sehr oft die Hebung übergeht in eine Senkung, oder dass, wenn die eine Küste steigt, die gegenüber liegende Küste sinkt. Der erste Fall tritt bei Süd- und Nordgrönland, der andere Fall bei Neuseeland und bei Südamerika ein, welches letztere bei seinem chilenischen Rande sich aufrichtet, am patagonischen sinkt. Oft auch kommt es vor, dass die Erhebung der einen Küste ausgeglichen wird durch das Untertauchen eines gegenüber liegenden Landes. Dem Abwärtsschweben Südgrönland's entspricht eine Hebung in Labrador und Neufundland. In Skandinavien geht nicht nur die Hebung des nördlichen Theiles bereits in Südschweden zu einer Senkung über, sondern längs der ganzen Nordküste unserer Heimath, sowie an der cimbrischen Halbinsel und Holland bis zum Golf von Biscaya wird ein Verlust an Land und zum Theil an senkrechter Höhe beklagt.

Es handelt sich übrigens dabei um Erscheinungen sehr verschiedenen Ursprungs. Eine ganze Reihe von Erhebungen ereignet sich auf vulcanischem Gebiet und wird wahrscheinlich besonderen

[1]) Aus O. Peschel's „Neuen Problemen" (3. Aufl. S. 115—121). Dieser Abschnitt hat nur wenige Veränderungen erfahren.

Kräften zugeschrieben werden müssen, während andere bei den secularen Erhebungen grosser Ländergebiete thätig sind, die sich von jedem Verdachte vulcanischer Mitwirkung fern halten. Auch hat uns die Geologie eine Anzahl Beispiele geliefert, dass an gewissen Oertlichkeiten die Küsten in rascher Zeitfolge geschwankt haben, so dass ein Uferstreifen bald mit Wasser bedeckt war, bald wieder als trockenes Land aufragte. So wird auch mancher andere grosse Hebungsabschnitt durch Einschaltung von Senkungen und mancher grosse Senkungsabschnitt durch vergängliche Hebungen unterbrochen worden sein. Was also in der historischen oder der geologischen Zeit beobachtet worden ist, bürgt uns nicht dafür, dass dort, wo Land kürzlich aufgestiegen ist, die Hebung fortdauere, oder dass dort, wo wir eine Senkung gegenwärtig beobachten, nicht eine Hebung vorausging und nachfolgen werde. Wenn wir insbesondere die Vorgänge auf vulcanischem Gebiet als örtliche Erscheinungen eigener Art von der Gesammtbetrachtung ausscheiden, so ergiebt sich schliesslich doch, dass die heutigen Hebungen und die heutigen Senkungen überall da auftreten, wo seit den tertiären Zeiten ein Vordringen oder ein Zurückziehen der Festlande stattgefunden hat.

Indem wir die gesammten Hebungs- und Senkungserscheinungen überblicken, erkennen wir, dass die Erdfesten seit den tertiären Zeiten nach zwei Richtungen an Raum gewonnen haben: sie suchen sich nach dem Norden und nach dem Westen der Erde auszudehnen, während im Süden und im Osten des jetzigen trockenen Landes lauter verlorene Erdtheile liegen. Hieraus geht zugleich hervor, dass an der Südostseite aller Continente die Inselbildung am reichsten ist.

Im Osten der Alten Welt, also in der Südsee, ist ein grosses Festland versunken, wie die zahlreichen Koralleninseln uns bezeugen, die nach der Hypothese von Dana uns noch die Streichungslinie von ehemaligen Cordilleren-Kämmen verrathen. Jener Welttheil gehörte mehr der südlichen als der nördlichen Halbkugel an und muss sich in ferner Vergangenheit ziemlich beträchtlich dem heutigen Südamerika genähert und einige Pflanzengestalten mit ihm ausgetauscht haben, weil die heutigen Gewächse Neuseeland's ausser australischen viele Anklänge an südamerikanische Gestalten wahrnehmen lassen.

Australien wiederum muss ehemals viel geräumiger gewesen sein. Neu-Guinea gehörte ihm noch vor vergleichsweise kurzer Zeit, Tasmanien vor längerer Zeit an. Aber auch gegen Osten hat es an Ausdehnung verloren; denn dort erstreckt sich das bekannte und gefürchtete Barrière-Riff, dessen Korallenmauer zu beträchtlichen Tiefen hinabsinkt und die Uferlinien des vormaligen Ostaustralien uns noch

aufbewahrt hat. Aber auch ausserhalb der Korallenbarrière schwärmt die See ostwärts von Riffen, zu denen sich auch einige Inseln gesellen. Ueberhaupt gewahren wir nicht auf seiner West-, wohl aber auf seiner Ostseite Inseln und dort auf beträchtlichem Abstande auch grössere Inseln, die verdächtig sind, ihm, wenn auch vielleicht vor den tertiären Zeiten, angehört zu haben, nämlich Neu-Caledonien [1]) und in einer ferneren Vergangenheit auch Neuseeland.

Ein Zurückziehen der Ostküste Asien's wird ebenfalls durch verschiedene Anzeichen bestätigt. Japan's Thierwelt berechtigt uns zu dem Schluss, dass es ehemals mit dem malayischen Indien besser als jetzt verbunden gewesen und seitdem auf seinen heutigen Umfang eingeschrumpft sein muss, wenn es auch neuerdings Dank dem Umstande, dass es auf einem Gebiete vulcanischer Thätigkeit liegt, zu den aufsteigenden Inselgruppen gezählt wird [2]). Weit schärfer sind die Vorgänge in den Räumen zwischen Australien und Südostasien jetzt ermittelt worden. Australien besass zu der Zeit, wo in der Alten Welt noch Beutelthiere hausten, einen trockenen Zusammenhang mit Asien, der schon am Beginn der tertiären Zeit oder etwas früher zerrissen wurde. Selbst dann blieben noch, wie eine Untersuchung der Fauna jener Inseln lehrt, Java, Borneo, die Halbinsel Malakka und Sumatra unter sich und mit dem indochinesischen Asien vereinigt, bis sich auch dort das Festland in Inseln zerstückte. Das Südchinesische Meer ist vielleicht gänzlich oder theilweise das Erzeugniss einer tertiären Senkung gewesen; denn noch jetzt dauert das Untertauchen längs der Küste von Kuang-tung und Anam fort. Man beachte wohl, dass der gesammte Ostrand Asien's, sowie der Südosten reich ist an Inseln und Inselwelten und alle Inseln eine Senkung und einen Länderverlust andeuten mit Ausnahme derer, die auf vulcanischem Gebiete ruhen.

Die grösste Veränderung in der Alten Welt aber fand statt durch das Wachsthum des nördlichen Russland's, so weit etwa die Tundren reichen, und des transuralischen Asien's. Dieses weite europäisch-sibirische Flachland wurde erst in einer sehr neuen geologischen Periode, nämlich während der sogenannten Diluvialzeit vom Wasser abgelagert, da östlich und westlich vom Ural jede Spur von Sedimenten

[1]) Neu-Caledonien besitzt keine anderen Säugethiere als Fledermäuse; alle anderen sind erst von Menschen eingeführt worden. V. de Rocha's Nouv. Calédonie. p. 59. 69.

[2]) Dass die Meeresräume ostwärts der vulcanischen Inselschnuren Nordostasien's in lebhafter Senkung begriffen sind, darf vielleicht daraus gefolgert werden, dass sich dort in der Nähe der Kurilen die grössten bisher beobachteten Meerestiefen vorfinden (bis 4655 Faden). Es scheinen demnach wirklich an dem Ostrande Asien's vulcanische Kräfte das Streben nach Senkung theilweise zu paralysiren.

aus der tertiären, Kreide-, Jura- und Triasperiode fehlen [1]). In Nordasien erstreckte sich das Meer in den tertiären Zeiten bis zum Baikal-See, einem alten Küstenfjord, der nach neueren Messungen eine Tiefe von 1248 Metern [2]), nach anderen Messungen sogar die kaum denkbare Tiefe von ziemlich 4000 Metern erreichen soll [3]), und bis nahe an den Altai; ja, wahrscheinlich verbreitete es sich sogar bis zum Kaspischen Meere und vor dem Aufsteigen des Kaukasus bis in den Pontus. Demnach war Europa damals gänzlich von Hochasien getrennt. Dass noch jetzt Sibirien, soweit es genügend erforscht ist, nach Norden wächst, wurde bereits angeführt.

Im Indischen Ocean, also im Süden und Osten der Alten Welt, muss ehemals ein grösseres Festland gelegen haben, das sogenannte Lemuria oder die Heimath der Halbaffen. Zu ihm gehörten Madagaskar, die granitischen, jetzt sinkenden Seychellen, die Malediven, Ceylon; ja, es mag sich vielleicht bis zu den Keeling-Inseln oder noch weiter östlich erstreckt haben. Man übersehe wiederum nicht, dass sich hier die Ost- und Südküsten der Alten Welt als Senkungsfelder besonders inselreich bewähren; denn Inseln auf hoher See deuten immer auf Zerreissung von Festland; nur darf man auf dem genannten Raume nicht an die Maskarenen denken, die als vulcanische Inseln eine Senkung weder bezeugen noch widerlegen.

Nicht so einfach sind die Schicksale Europa's gewesen; aber dieses gliederreiche Stück Erdoberfläche lässt uns schon in seinem Antlitz lesen, dass es auf einem Schauplatz widerstreitender Kräfte und eines harten Kampfes von Wirkungen und Gegenwirkungen gelegen ist. Im allgemeinen muss jedoch eingestanden werden, dass Europa seit der tertiären, ja selbst noch seit der Eiszeit beträchtlich an Gebiet verloren hat. Die Nordsee war ehemals so wenig vorhanden wie der Aermelcanal; ja, es erstreckte sich unser Festland in der tertiären Vergangenheit über die Färöer und Island nach Grönland und stand in fester Verbindung mit Nordamerika. Können die Tiefenkarten uns noch etwas von den ehemaligen oceanischen Ufern verrathen, so war das nordatlantische Becken in den Vorzeiten viel schmaler und reichte nur mit einigen schmalen Armen theils zwischen Island und Grönland, theils zwischen Island und den Färöern, theils zwischen diesen und den Shetland-Inseln hinauf. Damals war Jütland mit Südschweden verbunden, und die Ostsee öffnete sich nach dem Weissen Meer, was

[1]) Bernh. v. Cotta im Ausland 1869, S. 290. 292; B. v. Cotta, Der Altai. Leipzig 1871. S. 57.

[2]) Globus. Bd. XXI (1872), S. 224.

[3]) Gaea 1878, S. 306.

namentlich dadurch bewiesen wird, dass Muscheln (wie Yolida pygmaea), die jetzt nur bei Spitzbergen lebendig vorkommen, an der Küste des mittleren Schweden's fossil im Gletscherlehm vorkommen; auch werden auf dem Boden des tiefen Wener- und Wettersee's noch lebende arktische Crustaceen angetroffen [1]).

Ehe sich im Nordwesten Europa's die Verbindung der Festlande ganz aufgelöst hatte, hingen Spanien und Afrika noch fest an einander; denn dass die Strasse von Gibraltar noch nicht geöffnet war, bezeugen uns neben unzähligen anderen Uebereinstimmungen der Thier- und Pflanzenwelt an beiden Ufern des Mittelmeeres die Affen am Tarikfelsen [2]), die leider bis auf eine einzige Familie jetzt ausgestorben sind. Damals bestand noch kein Zusammenhang zwischen dem Schwarzen Meere und dem Mittelmeer. Vielmehr traten beide durch den Bosporus erst mit einander in Verbindung, nachdem Pontus und Kaspisches Meer sich von einander geschieden hatten, da dem letzteren alle die Fische fehlen, welche das Schwarze Meer dem Mittelländischen entlehnt hat. Hier hat also in neuerer Zeit das Mittelmeer an Umfang gewonnen. Andererseits verlor dasselbe wieder, und zwar in der geologischen Gegenwart, ein grosses Stück der Sahara im Süden von Algerien, da, wo noch jetzt die Salzsümpfe liegen: jedoch reichte das Wasser auch nicht viel weiter nach Westen und nicht viel weiter nach Süden. Eine zweite Verbindung des Mittelmeeres mit dem Indischen Ocean scheint sich gegenwärtig vorzubereiten; denn die Nordküste des Nildelta's ist im Untertauchen begriffen, obgleich die benachbarte syrische Küste wächst und die Uferwände des Rothen Meeres aufsteigen.

Wir bemerken also in Europa im Gegensatz zu den übrigen Veränderungen der Erdoberfläche einen Verlust von Land im Westen wie im Norden, dreifach bestätigt durch die Vergleiche der Artenstatistik von Thieren und Pflanzen, durch die Meerestiefen und durch die vorhandenen Inselbildungen.

Von der Westküste Afrika's fehlen Angaben über beobachtete senkrechte Bewegungen der Ufer; dagegen ist ein Landzuwachs nördlich vom Aequator durch Anschwemmung von Flüssen allenthalben nachweisbar. Die gesammte Westküste ist rein von grösseren unvulcanischen Inseln; denn die vier vorliegenden Gruppen: Madeira mit seinen Trabanten, die Canarien, die Inseln des Grünen Vorgebirges und die reihenweise geordneten Inseln im Meerbusen von Guinea, sind

[1]) A. Bastian in einem Aufsatze „Zur Ethnologie des alten Europa" in der Zeitschrift für Ethnologie, Bd. I (1869), S. 98, Nota 2.

[2]) Gibraltar ist eine Verstümmelung aus Dschebel Tarik.

sämmtlich vulcanische Schöpfungen. Von der Madeira-Gruppe hat Sir Charles Lyell nachgewiesen, dass sie niemals mit dem Festlande vereinigt war, ja dass selbst ihre einzelnen Körper unter einander nicht fest zusammenhingen, und das Gleiche darf selbst von den Canarien angenommen werden[1]). Afrika hat also auf der Westseite allen Anzeichen nach nicht an Gebiet verloren.

Am deutlichsten zeigt sich ein Verschieben von Ost nach West bei den beiden amerikanischen Festlanden. Dort kann kein Zweifel herrschen, dass der östliche Rand der ältere, der westliche der jüngere der Continente sei; denn auf dem nördlichen Continent erfolgte die Faltung der Alleghanyketten viel früher als das Aufsteigen der Felsengebirge. Die geologischen Karten von Südamerika beruhen allerdings noch auf sehr ungenauen Erforschungen; doch steht immerhin so viel fest, dass das Gebirgsland Guayana's, sowie die Hochländer von Brasilien um vieles ältere Erhebungen sind als die Anden, die überhaupt zu den jüngsten Erhebungen zählen, wie man schon aus dem fast schnurgeraden Verlaufe der Westküsten zu schliessen berechtigt wäre. Nordamerika hat sich in früheren geologischen Zeiten weit tiefer in das Atlantische Meer hineinverbreitet, zumal im Norden, wo die früher vorhandene trockene Verbindung mit dem tertiären Europa durch Verlust an Gebiet gänzlich zerstückt worden ist. Die Untiefen östlich und südlich von Neufundland, sowie die geräumige Beaufort- oder Milne-Bank, welche der 40. westliche Mittagskreis (Greenwich) mitten durchschneidet, dürfen uns wohl noch als Ueberreste von Land aus einer vergleichsweise nahen Vergangenheit gelten. Ein Grenzstein des ehemaligen Nordamerika ist uns noch in der Bermudasgruppe erhalten worden. Zwar ist sie zunächst ein Bauwerk von Korallen und steigt aus grossen Seetiefen auf; allein die Flur, auf welcher sich die untersten und ältesten Polypen festsetzten, muss ja nach dem Gesetz solcher Bildungen der Oberfläche der See sehr nahe gewesen sein. Auch jetzt noch taucht sie, wie wir erkannt haben, unablässig tiefer in das Meer hinab. Dass ferner östlich von den Alleghanies ehemals ein Festland mit hohen Gebirgen gestanden sei, dessen Süsswasser über die damals noch nicht gefalteten Appalachenketten nach Westen abflossen, hat Sir Charles Lyell daraus gefolgert, dass der Geröllschutt, welcher das grosse Ohiokohlenbecken bedeckt, je mehr man sich dem Atlantischen Meere nähert, und zwar bis in die Nähe von Philadelphia, immer gröber wird; zugleich nimmt er nach derselben Richtung hin an Mächtigkeit zu. Noch jetzt dauern übrigens dort die Einbrüche des Meeres fort, und die Ostküste der Vereinigten Staaten gehört zu den-

[1]) Principles of Geology. 12th ed. Vol. II, p. 407 sq.

jenigen, die sich zurückziehen. Vergleichen wir die beiden Küstenränder Nordamerika's, den atlantischen mit dem pacifischen, so finden wir an der Westseite nur Fjorde und Fjordinseln, deren Entstehung in einem der folgenden Abschnitte erklärt werden soll, oder eine vulcanische Gruppe, wie die Revilla Gigedos. Der Ostrand dagegen ist reich an solchen Inseln, die wir als abgelöste Festlandsstücke erkannt haben. Wir rechnen dahin Anticosti, Neufundland und, wenn wir die Früchte einer fernen Zukunft noch unreif brechen dürfen, auch Neuschottland, welches mit dem Festlande nur durch einen dünnen Rücken verbunden ist, gegen welchen die mächtigsten Fluth-erscheinungen der Erde, nämlich die in der Fundybay, zweimal täglich Sturm laufen, um jene Halbinsel in ein andres Neufundland zu verwandeln.

Mittelamerika gegenüber liegt wiederum auf der Ostseite eine uralte, vielleicht vortertiäre Inselwelt als Ergebniss einer Senkung von Festland. Als Ersatz erfolgte die Verknüpfung des südlichen mit dem nördlichen Welttheile auf der Enge von Panama in einer nicht allzufernen Vergangenheit. Dort war früher eine Meeresstrasse, wie neuere Besichtigungen von Geologen uns gelehrt haben und wie es auch die Thatsachen der Thier- und Pflanzenverbreitung fordern; denn die südamerikanische Schöpfung ist eine Welt für sich geblieben wie die australische, nicht völlig so alterthümlich in den Formen wie diese, immerhin nicht so modern in ihren Trachten als Nordamerika oder die Alte Welt.

Der Westrand des südlichen Festlandes gehört zu den inselreinsten Uferstrecken der Erde; selbst Küsteninseln ausserhalb der Breiten, wo Fjorde auftreten, sind auffallend sparsam, während die vorliegenden oceanischen Gruppen, nämlich die Galápagos und die beiden Inseln Juan Fernandez nnd Mas-a-fuera, zu den vulcanischen Schöpfungen gehören. Ungleich anders sieht der atlantische Rand aus. Im Süden bezeugen uns die Falklandsinseln durch ihre Thierwelt, dass das Festland ehemals sie mit eingeschlossen habe, und noch jetzt gehört die patagonische Küste zu den sinkenden. Ihre tiefen Ufereinschnitte, wie die Matias- und die Blancabay und weiter nördlich der Rio de la Plata, welcher letztere gewiss nicht ein sogenanntes Aestuarium des Parana und Uruguay ist, sind in unseren Augen Wahrzeichen eines Zurückziehens des Festlandes, wenn auch gar nicht geleugnet werden soll, dass hier, wie die Küstenterrassen es bezeugen, vorübergehend Perioden der Hebung jenen Process verzögerten. Untiefen und Bänke vor der dortigen Küste, Klippen, wie die von Martin Vaz bei Trinidad, und die letztere Insel selbst deuten auf eine vormalige Ausdehnung des Festlandes gegen Osten. Dagegen dürfen wir die Felsplatten St.

Peter und St. Paul, zwar unvulcanisch, jedoch auf einer vulcanischen Spalte gelegen, eben deswegen nicht mit Sicherheit als Denkpfeiler eines ehemaligen Vordringens der südamerikanischen Ostküste betrachten. Vor der Mündung des Amazonas ist jedoch beträchtlich viel Land verloren gegangen, wie Dom João Martins da Silva Coutinho, der Begleiter Agassiz' auf seiner Erforschungsreise nach Brasilien, nachgewiesen hat[1]). Der Mündungstrichter des Amazonas ist nämlich ebenso wenig ein Delta, wie die dortigen Inseln Anschwemmungen von jungem Schuttland sind, sondern sie sind durch einen Einbruch des Meeres entstanden. Agassiz selbst nimmt an, dass vor der Amazonasmündung festes Land mit hohen Gebirgen gelegen sein müsse, eine Ansicht, von der wir nur lebhaft wünschen könnten, dass sie sich streng erhärten liesse.

Ueberblicken wir noch einmal unsere Ergebnisse, so gewinnen wir zunächst Zutrauen zu der Annahme, dass die Verluste der Festlande seit den tertiären Zeiten wieder ausgeglichen worden sind durch Zuwachs in anderen Räumen und dass das Flächenverhältniss zwischen Wasser und Land, welches etwa wie 11 : 4 jetzt ermittelt worden ist, in früheren (wenn auch nicht den ältesten) Erdzeitaltern das nämliche gewesen sein mag. Wir schlossen aber weiter, dass vormals das Land anders vertheilt gewesen sein müsse, dass die nördliche Halbkugel mehr Land gewonnen als verloren, die südliche mehr Land verloren als gewonnen habe. Ferner ergab sich mit einer einzigen Ausnahme, dass die verlorenen Gebiete alle östlich von den jetzigen grossen Welttheilen liegen, die neu erworbenen Gebiete alle westlich, dass also das Trockene nach Westen flieht, weshalb auf ihrer Ostseite die alten Festlande immer abgelöste Stücke hinter sich zurücklassen, während ihre westlichen Uferlinien fast gänzlich frei sind von Inseln, abgesehen immer von den vulcanischen Bauwerken, die örtlich wirkenden Kräften ihren Ursprung danken.

[1]) Ausland 1868, S. 159.

X. Geographische Homologien [1].

In den Seen, welche die Malayen bewohnen, folgen von West nach Ost drei grössere Inseln auf einander: Borneo, Celebes und Gilolo oder Halmahera, deren bedeutungsvolle Aehnlichkeit, seit durch die Holländer genauere Karten der dortigen Erdräume verbreitet wurden, schon manchen erdkundigen Beobachter zum Nachsinnen angeregt hat. Vielleicht tritt auf unserem Planeten keine Insel in einer so scharfen Individualisirung auf wie Celebes; denn sie gleicht beinahe dem Buchstaben K oder einem ausgespannten Fächer. Die nämliche absonderliche Gestaltung wiederholt sich in dem nachbarlichen Gilolo. Hier ist die K-Form noch reiner ausgeprägt; auch besteht der Fächer wie bei Celebes aus vier Gliedern und ist genau nach derselben Himmelsrichtung wie bei Celebes geöffnet. Aber auch zwischen Celebes und Borneo sind einige, wenn auch verdeckte Aehnlichkeiten zu finden. So bemerken wir an der Nordostküste Borneo's einen rüsselartigen Auswuchs und in der Mitte der Ostküste eine bajonnettartige Zunge, als wollte sich die Insel nach dem Muster des schwesterlichen Celebes fächerförmig in Halbinseln zertheilen. Würde sich die Ostküste Borneo's ins Meer senken, so dass nur die gebirgigen Theile noch über dem Wasser blieben, so würde die Aehnlichkeit mit Celebes viel sichtbarer werden. Denkt man sich umgekehrt die vielen einspringenden Golfe von Celebes durch angeschwemmtes Erdreich ausgefüllt, so würde diese Insel dem geschwisterlichen Borneo in Bezug auf die Umrisse sehr nahe kommen [2]). Gewiss, wenn es jemals gelingen sollte, die Ursachen zu erkennen, weshalb sich solche verwickelte und doch so

[1]) Aus Peschel's „Neuen Problemen" (3. Aufl. S. 66—74) herübergenommen und durch einige, zum Theil von Peschel selbst geschriebene Zusätze erweitert.

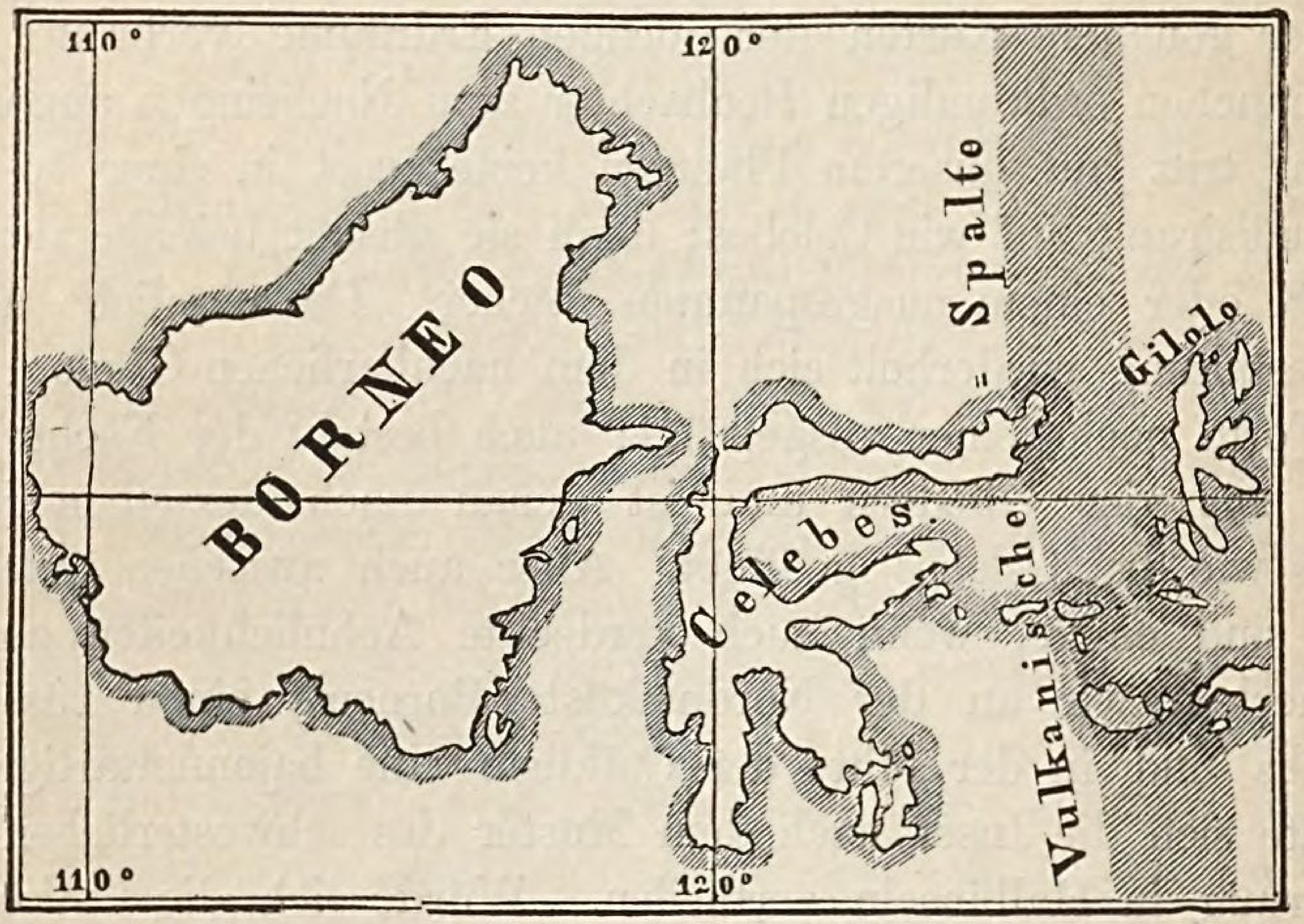
[2]) Peschel veröffentlichte das Obige zuerst am 14. Mai 1867; es war ihm höchst erfreulich, dasselbe später fast wörtlich von Wallace bestätigt zu hören. The Malay Archipelago. London 1869. Vol. I, p. 231.

scharf ausgeprägte Inselformen in rascher Folge dreimal wiederholen müssen, würden wir noch andere grosse Geheimnisse entschleiern können, nämlich die Thatsachen, von denen die Gliederungen der trockenen Erdoberfläche überhaupt abhängen mögen.

A. v. Humboldt, der sich die Gebirge als ein Aufsteigen des heissflüssigen Erdinnern durch Spalten in der Planetenrinde erklärte, bemerkt in der Sprache dieser Hypothese: „Der Conflict der Kräfte bei gleichzeitiger Oeffnung von Spalten entgegengesetzter Richtungen scheint bisweilen wunderbare Gestaltungen neben einander zu erzeugen: so in den Molukken Celebes und Gilolo.“ Ein kleiner Gewinn an geschärfter Einsicht dürfte sich an die Wahrnehmung knüpfen, dass zwischen beiden Inseln (Fig. 51.) eine breite Spalte vulcanischer

Fig. 51.

Längen östlich von Greenwich.



Fächerförmige Inselbildungen der Molukken-See.

Thätigkeit hindurch läuft, welche Gilolo in den Vulcanen der kleinen Molukkeninseln, der ursprünglichen Heimath der Gewürznelken, sehr nahe streift; Celebes dagegen trägt Vulcane nur an seiner Nordspitze, und, wie Wallace versichert, finden sich Spuren vulcanischer Thätigkeit höchstens noch auf seiner südlichen Halbinsel in den dortigen Basalten, wenn man diese dafür gelten lassen will. Es ist aber sehr belehrend, dass der Durchgang einer vulcanischen Spalte nicht das Mindeste an der doch so leicht zu unterdrückenden Fächerform der beiden Inseln zu ändern vermocht hat, was eine Schwäche der dortigen vulcanischen Kräfte verrathen möchte. Wohl äussert Wallace sonst noch die Vermuthung, dass Celebes durch allmähliche Anschwemmung und Ausfüllung seiner Golfe der Insel

Borneo ähnlich werden möchte, und er scheint zu behaupten, dass bei ihm mit fortschreitender Altersreife gleichsam die Fettbildung nicht ausbleiben könne [1]). Wir unsererseits sehen in Celebes ein abgemagertes Borneo, welches längst verschwunden wäre, wenn nicht seine Gebirge als Beingerüst uns die ehemaligen Umrisse des Landes noch zu ziehen erlaubten. Bei Gilolo endlich ist das Verhängniss schon weiter fortgeschritten. Für die Anschauung, dass wir in jenen Inseln die Reste gesunkener Ländermassen vor uns haben, spricht auch die Geschichte jener Erdräume, soweit sie sich aus den Pflanzen- und Thierresten ermitteln lässt. So sollte man von Celebes, im Schosse der indisch-australischen Inselwelt gelegen und mit ihr durch Trabanteneilande wie durch Korallenriffe vielfach verknüpft, mit Recht erwarten, dass ihm von allen Seiten Thier- und Pflanzenarten zugewandert wären und seine Schöpfung uns einen Abriss der gesammten südostasiatischen organischen Welt darstellen sollte. Statt dessen steht es völlig selbstständig und vereinsamt da, wenig Anklänge an Australien, noch weniger an Asien bietend, während seine Säugethiere durch geheimnissvolle Familienzüge an die afrikanische Fauna erinnern. Zu diesen merkwürdigen Gestalten gehören ein seltsamer pavianartiger Affe (Cynopithecus nigrescens), ein antilopenartiges Rind oder Büffel (Anoa depressicornis oder Sapi-utan) und der Babirussa, welcher dem afrikanischen Warzenschwein verwandt ist [2]). Tertiäres oder modernes Gebiet ist wenig vorhanden; denn die Gebirge gehören entfernteren Weltaltern an und sind überall und allseitig zerklüftet, das morsche Gerüst eines uralten Stück Erdbodens.

Für die Wiederkehr der nämlichen Gestaltungen, sei es in den flachen Umrissen, sei es in den Bodenerhebungen, die wir auf den Ländergemälden unserer Erde abgebildet finden, hat Agassiz den glücklichen Ausdruck „geographische Homologien“ gefunden. Er entlehnte ihn der vergleichenden Anatomie, die damit ideale Aehnlichkeiten bezeichnen will, welche sich auf die allmählich fortschreitende Umbildung von Körperbestandtheilen und Gliedmassen begründen. Wir mögen von den Gegenständen, welche die Kartenzeichner abbilden, betrachten, was wir wollen, seien es grosse Festlande, Halbinseln, Inseln, Gebirge, Seen, Golfe, Süsswasserbecken oder Flüsse, überall stossen wir auf Wiederholungen und Aehnlichkeiten im Grossen wie im Geringen. So haben wir in einem früheren Abschnitte (S. 237 f.) schon die Racenmerkmale der kleinen Inseln bezeichnet, welche auf den Lippen der sogenannten vulcanischen Spalten aufgestiegen sind und die an Perlen erinnern, welche, aufgereiht an einer Schnur, im

[1]) Dies geschah in früheren Schriften.

[2]) Alfred Russel Wallace, The Malay Archipelago. Vol. I, p. 432 sq

flachen Bogen schweben. Selbst grössere vulcanische Inseln, wie Sumatra, Java und die kleinen Sunda-Inseln, verleugnen diesen Charakterzug nicht. Die Inseln, welche von Korallen erbaut werden, besitzen einen eigenen bekannten Typus, der örtlich wiederum sehr ausgeprägte Formen annimmt. So bemerken wir in der Bahamagruppe die Wiederholung von Gestalten, die einige Aehnlichkeit mit einem Fischhaken besitzen. Anderwärts, wie in der Gruppe der Tuamotu-Inseln, bilden sie kleine ringförmige Eilande, Atolle genannt. Ein Familienzug ist allen Individuen der vulcanischen Salomonengruppe in der Südsee gemeinsam. Sie erscheinen wie die scharfen, lückenreichen Kämme eines doppelten, aus der See sich aufrichtenden Gebirgszuges, und dieser Typus setzt sich bei gleicher Streichungslinie noch fort nach Neu-Irland und Neu-Hannover.

Bei sehr vielen Gebirgen ist ein paralleles Streichen der Ketten oder der Falten sehr gewöhnlich, z. B. bei dem Schweizer Jura, dem Atlas, den Alleghanies und anderen. Auf A. v. Humboldt wirkte besonders anregend der symmetrische Bau der dreifachen Kette der peruanischen Anden, wo sich jede Schwenkung oder Abbiegung von der allgemeinen Streichungslinie bei allen drei Ketten wiederholt. Auch einspringende Golfe zeigen mitunter auf grosse Entfernungen ein symmetrisches Verhalten. Das Gestade von Afrika am Rothen Meere und am Meerbusen von Aden bildet einen einspringenden Winkel von etwas mehr als 90°. Die ziemlich strenge Wiederholung des einspringenden Winkels von gleicher Grösse gewahren wir an dem arabischen Ufer des Persischen Meerbusens; ja, wenn man diesen Golf verlässt, so wiederholt sich in der Strasse von Hormuz und später noch einmal bei Mascat das Einspringen von Winkeln in den Umrissen Arabien's.

An der Nordküste eines Festlandes werden sich nur Halbinseln finden, die mehr oder weniger gegen Norden gerichtet sind; an den West- und Ostküsten der Festlande dagegen können die Halbinseln sowohl nach Süden wie nach Norden gerichtet erscheinen. Betrachten wir nun den Norden der Erde, so gewahren wir, dass kräftige Halbinselbildungen nur an den russischen Küsten auf der kurzen Strecke zwischen dem Weissen Meere und der Lenamündung auftreten. In Ostsibirien fehlen sie gänzlich, ebenso wie in Nordamerika; man müsste denn an das ungefüge Labrador oder an das kleine Boothia Felix denken. An den Südküsten der Festlande dagegen streben alle Ländermassen nach einer halbinselförmigen Zuspitzung. Das Merkwürdigste aber ist, dass an den West- und Ostküsten der Festländer Halbinseln heraustreten, die mehr oder weniger gegen Süden, keine, die gegen Nord gerichtet sind, wie dies bereits der Schwede Torbern Bergmann vor einem Jahrhundert (1773) aussprach. An der Ostküste

Asien's folgen sich auf einander Kamtschatka, Sachalin, eine Insel zwar nach der gewöhnlichen Sprachweise, im Grunde aber eine versteckte Halbinsel, weil sie nur durch eine seichte Meerenge vom Festland abgeschieden wird, dann Korea. Im Westen von Nordamerika haben wir Aliaska und Nieder-Californien, im Osten Florida. Yucatan ist zwar eine Halbinsel, die ein wenig nach Norden gerichtet erscheint; doch gehört sie einem inneren, seichten Meere an, und wir betrachten hier nur die oceanischen Umrisse. Bedeutsam ist der Mangel an Halbinseln in Südamerika; denn solche schwächliche Gliederungen wie die Halbinseln Guajira, Paraguana und Paria ziehen wir nicht in Betracht. Vollständig mangelt auch eine wahre peninsulare Gliederung dem afrikanischen Festland, mit einziger Ausnahme vielleicht seines zugespitzten Osthorns, welches im Cap Guardafui endigt. Ist die südamerikanische Pyramide durch die mittelamerikanischen Engen an den nördlichen Continent befestigt und liegt im Osten von dieser Brücke die Inselwelt der Grossen und Kleinen Antillen, so wird eine ähnliche Verbindung Australien's mit Südasien durch die Halbinsel Malakka mit Unterstützung der grossen Inseln Sumatra, Java, sowie der Sunda- und Bandagruppe angestrebt, die ihrer Gliederung und Richtung nach die mittelamerikanischen Landengen vertreten und in deren Osten abermals Inseln liegen. Um die Aehnlichkeit noch zu vermehren, sind sowohl auf den mittelamerikanischen Isthmen wie auf den Antillen die Vulcane so häufig wie auf den Inseln zwischen Asien und Australien. Beiläufig bemerkt ist es das Verdienst Adalbert v. Chamisso's, auf die Homologie dieser beiden Erdräume zuerst die Aufmerksamkeit gelenkt zu haben [1]).

Die lehrreichsten Aehnlichkeiten sind jedoch in den Umrissen Südamerika's, Afrika's und Australien's wahrzunehmen. Lord Bacon bezeichnete schon die Südspitzen Afrika's und Südamerika's als homologe Bildungen (similitudines physicae in configuratione mundi) [2]); dann erkannte Joh. Reinh. Forster die Aehnlichkeit Australien's mit den beiden anderen Continenten [3]). Freilich hielt man zu seiner Zeit die Insel Tasmanien noch für einen Zubehör des australischen Festlandes; denn die Bassstrasse wurde erst 30 Jahre nach der Reise des älteren und jüngeren Forster mit Capitain Cook nach den Südpolarmeeren entdeckt. Gleichwohl bleibt Forster's Vergleich nicht minder treffend; denn Tasmanien darf als die wahre Südspitze von Australien

[1]) A. v. Chamisso's Werke. Leipzig 1852. Reise um die Welt. Bd. II, S. 44.

[2]) Francisci Baconi novum organum. Lib. II, Aphor. 27. Opera. Amstel. 1684. Vol. II, p. 232.

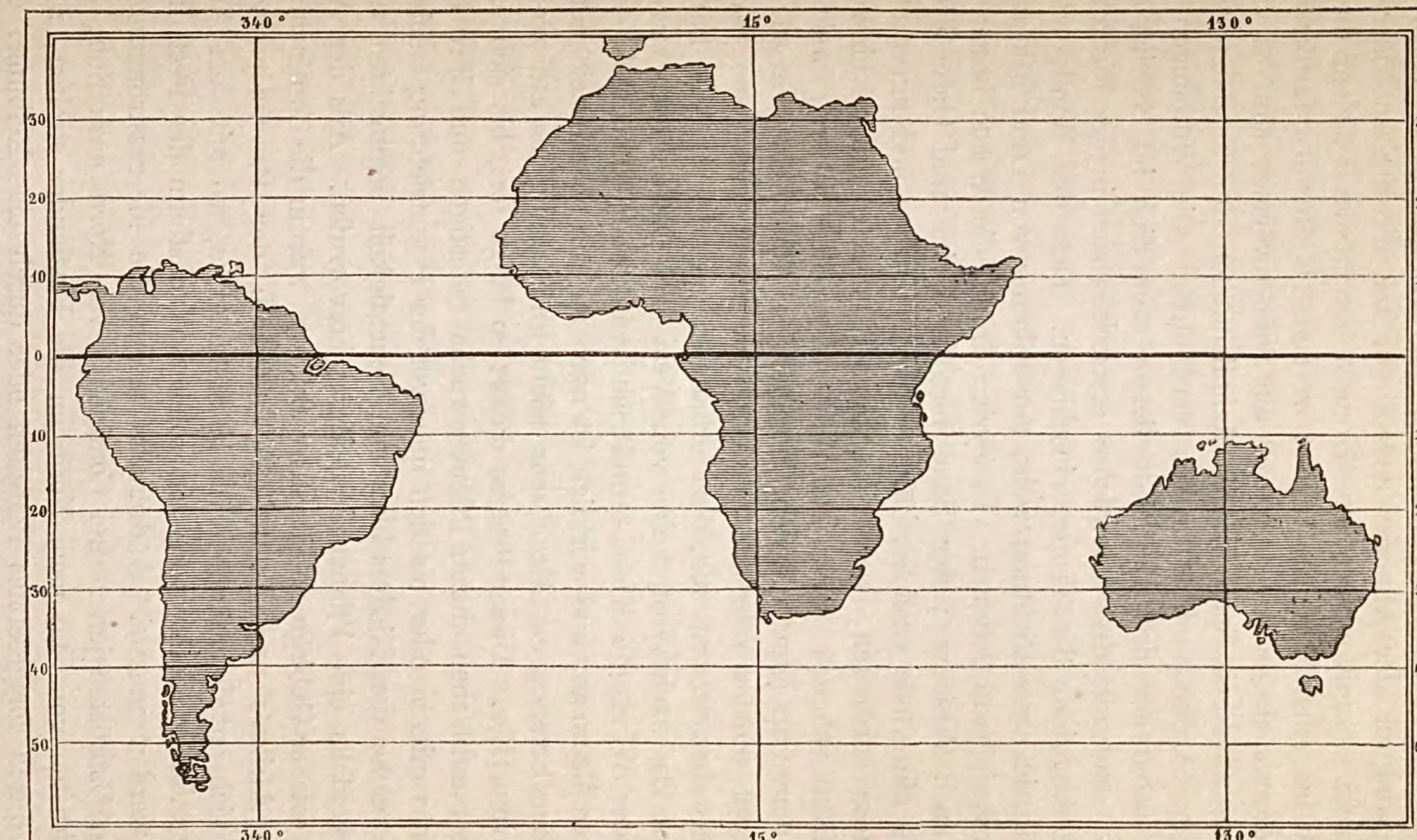
[3]) J. R. Forster, Bemerkungen auf seiner Reise um die Welt. Berlin 1783. S. 3.

angesehen werden, da die Bassstrasse sehr seicht und Tasmanien in einer vergleichsweise kurzen geologischen Vergangenheit mit dem nahen Festlande verbunden gewesen ist, was vor allem durch die Aehnlichkeit der Flora und Fauna Tasmanien's mit der Australien's bewiesen wird. In den drei Continenten haben wir die grösste Einförmigkeit der Gestaltung vor uns, als ob sie nach einer Schablone gearbeitet worden wären (Fig. 52). Nach Osten zu endigen sie mit einer Spitze, die, bei Afrika zu einem Horn zugeschärft, in Südamerika bei Cap San Roque schon beträchtlich abgestumpft, in Australien zwar noch kenntlich, aber doch sehr verwischt ist. An ihren Westseiten, und zwar auf der nördlichen Hälfte, wiederholt sich bei allen dreien eine mehr oder weniger gewölbte Massenanschwellung. Bei Südamerika, welches die grösste Entwicklung von Nord nach Süd besitzt, tritt diese Anschwellung am wenigsten, bei Australien, das die geringste Ausdehnung von Nord nach Süd besitzt, tritt sie vergleichsweise am stärksten in den Ocean hervor, während Afrika zwischen beiden Welttheilen die Mitte hält. Eine Folge des symmetrischen Baues von Südamerika und Afrika ist die eigenthümliche Windung des atlantischen Thales; denn schon Immanuel Kant bemerkt treffend, dass die aus- und einspringenden Winkel der beiden Continente einander gegenüber liegen, wodurch der Atlantische Ocean die Gestalt eines grossen Stromes bekommt, eingeengt zwischen Ufern von gleichmässigem Abstand[1]). Leider wird durch die Verzerrung der Ländergestalten auf den Karten in Mercator's Projection dieser Parallelismus fast bis zur Unkenntlichkeit verwischt. Wollte jemand in solchen fast pedantischen Wiederholungen nur Neckereien des Zufalls erblicken, so müsste er überhaupt verzichten, aus Aehnlichkeiten in der Natur zur Erkenntniss eines ursächlichen Zusammenhanges zu gelangen. Bisher hat niemand eine Vermuthung geäussert, welcher Wirkung von Naturkräften jene seltsamen Aehnlichkeiten beigemessen werden möchten. Auch A. v. Humboldt, der sich vielfach mit diesen morphologischen Geheimnissen beschäftigte, gestand ausdrücklich, er könne nur auf die Aehnlichkeiten hindeuten, ohne die Gründe ihrer Nothwendigkeit zu erörtern.

In keinem Falle darf man diese Analogien auf irgend welche Processe zurückführen, welche bei der oberflächlichen Erstarrung des gluthflüssigen Erdkörpers sich vollzogen. Dies ist vor allem deshalb unstatthaft, weil der Meeresboden und die Festländer — wenn auch ausserordentlich langsam, so doch durch ungemessene Zeiträume hindurch — nach der Abkühlung und Verhärtung der Erdoberfläche sich

[1]) Immanuel Kant, Physische Geographie. Mainz 1802. Bd. II, S. 62.

Fig. 52.



Die drei südlichen Festlande der Erde.

Projection der Karte: Die Abstände der drei Theilungsmeridiane sind willkürlich. Die Breitengrade sind gleichabständig, und auf jedem Parallel ist der wahre Abstand der Küsten vom Theilungsmeridian nach dem Massstab der Parallelabstände aufgetragen; folglich ist nicht nur die starke Verzerrung der Mercatorprojection vermieden worden, sondern die Länderräume sind genau unter einander proportional, wie es für unsere Aufgabe erforderlich war.

rastlos auf- oder abwärts bewegt haben und somit auch ihre horizontalen Umrisse beständig wechselten. Das Urbild der Continente ist demnach längst schon völlig verwischt, wie wir ja von Nordamerika wissen und von Südamerika vermuthen dürfen, dass beide westwärts wandern, wodurch der Atlantische Ocean breiter, die Südsee enger zu werden droht. Somit müssen jene Homologien im wesentlichen durch jetzt noch herrschende Kräfte erklärt werden. Kräfte des Luftkreises und des Meeres, beide bewegt durch die Sonnenwärme, sind es vielleicht gewesen, deren Spiel wir die Aehnlichkeiten der Festlande von Südamerika, Afrika und Australien verdanken. Die Wölbungen an den Westküsten der drei Festlande liegen sämmtlich im Bereich der Passatzone, und alle drei Auswüchse erstrecken sich in der Richtung, welche die Ostwinde der Tropen einschlagen. Dass der Wind, wenn er beständig in einer Richtung weht, zur Bildung von Land beitragen kann, darf niemand leugnen. In Syrien dringt die Wüste beständig von Ost nach West vor; der Sand begräbt Haine und Ortschaften, und wo er die Küste erreicht, füllt er die Häfen aus und muss auch in das Meer vorrücken, wenn ihn keine Küstenströmungen hinwegführen. Ganz ähnlich muss das Wüstenmeer der Sahara, welches zwischen dem Cap Nun und dem Senegal den Atlantischen Ocean erreicht, durch die fortwährende Wirkung der Passatwinde neue Sandmassen aus dem Innern zugeführt erhalten, und da sich alle Sandmassen von Ost nach West, keine von West nach Ost zurückbewegen, so trägt der Wind die Kiesel- und Sandsteinkörner allmählich dem Atlantischen Meere zu, und wirklich ist auch auf der oben bezeichneten afrikanischen Strecke das Meer sehr seicht und sandig bis auf grosse Strecken vom Ufer. Dieser Process dauert so lange fort, bis sich entweder die Sandflächen durch Pflanzenwuchs befestigen und ihre Beweglichkeit verlieren oder bis sich quer vor der Passatrichtung Gebirge erheben, welche den Niederschlag von Feuchtigkeit begünstigen und dadurch ebenfalls eine Pflanzenbekleidung hervorrufen. Aus der Abwesenheit solcher Gebirge würde sich erklären, warum die Continentalauswüchse Afrika's und Australien's innerhalb der Passatzone viel mächtiger sich entwickelt haben als in Südamerika, wo mit dem Aufsteigen der Anden nothwendig ein solches Wachsthum der Festlande beendigt werden musste. Andrerseits mögen die Meeresströmungen, die an den Ostküsten jener drei Continente von Nord nach Süd, an den Westküsten von Süd nach Nord an die Festländer streifen, ihm gleichsam durch fortgesetztes Belecken oder durch eine Reibung, die man Pinselstrichen vergleichen könnte, ihre pyramidalen Zuspitzungen verliehen haben.

Es bedarf wohl kaum der Versicherung, dass der gemachte Er-

klärungsversuch keinerlei Ansprüche auf unbedingte Richtigkeit erhebt. Vielleicht wird es in Zukunft gelingen, in noch zutreffenderer Weise die verwandtschaftlichen Züge jener drei Erdtheile auf gemeinsame Ursachen zurückzuführen.

Sollten auch diese Geheimnisse vorläufig noch unenthüllt bleiben, so können wir doch aus jenen Aehnlichkeiten uns eine andere Lehre ziehen, nämlich die, dass die Umrisse des festen Landes unabhängig sind von seiner senkrechten Gliederung. Hier gerathen wir jedoch in Widerspruch mit hergebrachten Ansichten; denn die älteren Geographen betrachteten die Gebirge als das Massgebende bei der Gestaltung des Trockenen, daher sie ehemals das Skelet der Festlande oder wohl auch das Gezimmer oder Balkenwerk der Erde genannt wurden [1]). Es soll nun gar nicht geleugnet werden, dass die Richtung der Gebirge nicht ohne Einfluss auf die Umrisse der Länder und Welttheile sei; man müsste sonst Italien und den Apennin, die Vulcanreihe Java's vergessen und verkennen wollen, dass die Gestalt des nord- und des südamerikanischen Welttheils in Abhängigkeit stehe von ihren Gebirgen; denn bei dem ersteren wird die Westküste durch die Richtung der Felsengebirge, die Ostküste durch das Streichen der Alleghanies gegeben. Noch strenger eingefangen zwischen Gebirgen liegt Südamerika. Erstens ist seine Westküste von der Landenge bis zum Cap Horn durch einen einfachen oder doppelten oder dreifachen Andengürtel geschützt, dann eben so der Saum des Caraibischen Golfes. Ferner sind die Räume zwischen Orinoco und Amazonas durch Gebirge ausgefüllt, und endlich haben wir in Brasilien Hochlande, deren Ränder dem Meere zugekehrt stehen. So konnte man sich denken und so hat man sich früher gedacht, dass die Gebirge, nachdem sie aus dem Meere aufgestiegen waren, den Rahmen oder die Wirbelsäulen zur Bildung der Länder gewährten. Hier nöthigt aber gerade die vergleichende Erdkunde zu anderen Vorstellungen. Die Gebirge haben nicht auf ihren Schultern die Welttheile mit sich emporgehoben; wohl aber haben sie die älteren Umrisse der Festlande vor einer allzuraschen Umbildung gerettet. Sie wirken also nicht erzeugend, sondern vielmehr erhaltend.

Die gemeinsamen Familienzüge Südamerika's, Afrika's und Australien's lassen uns nämlich schliessen, dass ihre horizontale Gestalt völlig unabhängig von ihren senkrechten Gliederungen erscheint, die bei jedem der drei Festlande verschieden ist. Den Westküsten Afrika's wie

[1]) Der Ausdruck Ossatura globi stammt aus Kircher's Mundus subterraneus. Amstel. 1665. Vol. I, lib. II, cap. 9, fol. 69. Hundert Jahre darauf bezeichnete sie Buache als charpente de la terre und später noch Ritter als Gezimmer der Erde.

Australien's fehlen die Cordilleren. Der plastische Bau des Innern von Nordafrika hat nicht die geringste Uebereinstimmung mit den homologen Räumen Südamerika's. Freilich kennen wir seine senkrechte Gestaltung nur mangelhaft; allein seine Stromsysteme kennen wir hinlänglich, und diese erlauben Rückschlüsse auf die plastische Anordnung des Ganzen. Südafrika ist, soweit wir es kennen, eine Hochebene, die nach beiden Meeren durch aufgerichtete Gebirgsränder begrenzt wird, ganz unähnlich den Tiefebenen Südamerika's südlich vom La Plata. Australien endlich ist am stärksten aufgerichtet längs seiner Ostküste; jedoch fehlen auch in Westaustralien nicht Hochebenen mit steilen Abstürzen; ja, dürften wir einem vorläufigen, freilich immer noch sehr lückenhaften Entwurfe eines Gesammtbildes von Australien Vertrauen schenken, so müsste es einer allseitig an den Rändern aufgerichteten, im Innern aber einsinkenden Hochebene gleichen [1]). Die Aehnlichkeit der drei Continente ist also trotz der Verschiedenheiten ihrer senkrechten Gliederung vorhanden, und dies lehrt uns, dass die grossen Umrisse der Festlande von anderen Kräften gestaltet wurden, als diejenigen waren, welche das Aufsteigen von Gebirgen hervorriefen. Mit anderen Worten: die Festlande sind älter als die Gebirge, die sie tragen.

Es dient uns zu keiner geringen Beruhigung, dass A. v. Humboldt zu ähnlichen Ansichten gelangte; denn in Bezug auf den Parallelismus der Westküsten von Südamerika und von Afrika äussert er in seinem Werke über Centralasien [2]) Folgendes: „Es giebt Analogien der Form und Lagerung, welche hervorzuheben von Nutzen zu sein scheint, wenn man auch ihre Ursache nicht erörtert. Solche Verhältnisse hängen, wie die vor- und einspringenden Winkel der Küsten des Atlantischen Oceans im Norden des 10.° s. Br. oder wie die correspondirenden Krümmungen des Golfs von Arica (in Peru) und des Golfs von Guinea, mit dem Phänomen des ersten Erscheinens der continentalen Massen zusammen, was weit früher eintrat als die Phänomene der Emporhebung der Gebirgsketten aus Spalten mit verschiedenen Richtungen." Hier ist also unser Satz, den wir beweisen wollten, schon ausgesprochen: die Festlande oder vielmehr der horizontale Umriss der Welttheile war schon

[1]) S. Rattray's Karte von Australien zu p. 381 des Journal of the R. Geogr. Society of London 1868 und Petermann's Karte von Australien in Stieler's Handatlas (1874), Nr. 73.

[2]) A. v. Humboldt, Centralasien. Deutsch von Mahlmann. Berlin 1844. Bd. I, S. 139.

vor dem Auftreten der Gebirge gegeben[1]). Auch hat A. v. Humboldt gezeigt, dass Kammgebirge, bis zum Meeresspiegel abgetragen und gleichmässig über irgend einen Continent ausgeebnet, dessen mittlere Höhe nur um weniges erhöhen würden (vgl. S. 424), dass diese vielmehr nur Rauhigkeiten von untergeordneter Bedeutung seien und dass sie deshalb jünger sein müssten als die Festlande selbst[2]).

Sind die Gebirge also nicht die Wirbelsäulen oder das Balkengerüst der Festlande, sondern späteren Ursprungs, so dienen sie doch dazu, um das einmal vorhandene Antlitz der Welttheile gegenüber den zerstörenden Kräften in Luft und Meer zu schützen oder bei dem Eintritt seculärer Bodensenkung die Grundzüge des ehemaligen Zustandes noch längere Zeit zu bewahren. So hat Dana die scharfsinnige Ansicht ausgesprochen, dass die Koralleninseln der Südsee, deren Hinabtauchen in den Ocean uns bereits in einem der vorhergehenden Abschnitte (S. 363 ff.) beschäftigte, durch ihre kettenartige Anordnung und ihr paralleles Streichen lebhaft an Cordilleren erinnern, die ehemals einen geräumigen Welttheil durchzogen, bei dessen Versinken sie eine Zeit lang noch über Wasser ragten und, als auch sie das Schicksal traf, gänzlich überfluthet zu werden, den riffbauenden Korallen noch die Unterlage gewährten, um die heutigen Ketten der Koralleninseln in der Südsee zu erbauen. So erscheint uns auch Neu-Caledonien, von dem wir wissen, dass es langsam abwärts schwebt, als der schmale Rücken eines Gebirges, welches als Uferleiste die Umrisse eines ehemals nach Osten weiter vortretenden Australien's wahrnehmen lässt. Denken wir uns Neu-Caledonien nach und nach gänzlich unter den Spiegel des Meeres gesunken, so werden auf seinem Rücken Korallenbauten aufsteigen, und eine Kette von Atollen wird noch lange Zeit die Streichungsrichtung und Ausdehnung der ehemaligen Insel bezeichnen.

In Mittelamerika schützte der beinahe lückenlose Zusammenhang der Cordilleren, welcher gegenwärtig den beabsichtigten Canalbauten zwischen den beiden Oceanen schwere, unbesiegbare Hindernisse bereitet, die gänzliche Trennung des südlichen und nördlichen Festlandes zu zwei Weltinseln. So erzählen uns nicht bloss die senkrechten Lagerungsverhältnisse der Felsarten, welche die Geologen, und nicht bloss die Abdrücke und Versteinerungen von Pflanzen und

[1]) Diese Anschauung hat auch den Beifall C. F. Naumann's (Lehrbuch der Geognosie. 2. Aufl. Leipzig 1858. Bd. I, S. 319), der uns zugleich belehrt, dass schon d'Aubuisson zu ihren Anhängern gehört hat.

[2]) A. v. Humboldt, l. c. S. 122 ff.

Thieren, welche die Paläontologen hauptsächlich in's Auge fassen, sondern auch die horizontalen Umrisse des Trockenen und Flüssigen, wo sie mit Hilfe der gewonnenen geologischen und paläontologischen Erkenntnisse von der vergleichenden Erdkunde gedeutet werden können, einiges von der Vergangenheit unseres Planeten und können den Landkarten die Reize eines historischen Gemäldes verleihen.

XI. Die Abhängigkeit des Flächeninhalts der Festlande von der mittleren Tiefe der Weltmeere [1].

Es ist zu beklagen und zu missbilligen, dass man noch immer gelegentlich von Gebirgsketten und Thälern auf dem Boden der See sprechen hört. Damit soll freilich nicht bestritten werden, dass in der Nähe von Festlandküsten, wenn der Boden plötzlich um 500 oder 1000 Faden sinken würde, Gebirge und Thäler überschwemmt werden möchten. Wenn ein ehemaliges Festland rascher unter das Meer hinabschwebt, als manche seiner Thäler ausgefüllt werden können, so müssen sie fortbestehen; ebenso werden seine Gebirge als felsige Inselkämme noch eine Zeit lang oder auch eine lange Zeit über dem Wasser bleiben und die versunkenen Theile das ehemalige Streichen durch Untiefen noch fort und fort verkündigen. Die dalmatinischen Kücsteninseln und noch mehr die Inselwelt zwischen Europa und Kleinasien gewähren uns ein deutliches Bild eines derartigen Vorganges. Ebenso darf nicht bezweifelt werden, dass in solchen seichten Meeren wie unsere Nordsee durch die aushöhlende Kraft des Wellenschlages Furchen gebildet werden können. Ferner ist es unvermeidlich, dass die Sohle der Oceane durch Spalten sich zerklüfte; denn viele der vulcanischen Inseln liegen reihenweise geordnet und sind daher aufgeschüttet worden durch vulcanische Auswürfe aus Spalten des Meeresgrundes. Soweit wir die plastische Gestalt der nordatlantischen Sohle kennen, giebt es auch dort Unebenheiten, Hochebenen und Tiefebenen, immer aber mit sanft geböschten Abstürzen. Nichts dagegen berechtigt uns zu der Vorstellung, dass sich der Meeresgrund falte wie die Oberfläche des festen Landes [2], dass dort Massengebirge aufgestiegen

[1]) Dieser ebenfalls den „Neuen Problemen“ (3. Aufl. S. 75—84) entlehnte Abschnitt ist völlig umgearbeitet und vielfach erweitert worden.

[2]) Vgl. die Abhandlung Sherard Osborn's „The Geography of the bed of the Atlantic and Indian Oceans and Mediterranean Sea“ in dem Journal of the R. Geogr. Society of London 1871, p. 46—58.

sind oder aufsteigen können, dass die Weltmeere mit einem Worte ihre Alpen, Pyrenäen, ihren Kaukasus, ihren Himalaya, ihre Anden oder Cordilleren besitzen sollten, es seien denn die Reste ehemaliger Festlandsketten, die durch Korallenbauten noch einem gänzlichen Erlöschen entgingen. Wir beharren also bei der Behauptung, dass Gebirge nur Erscheinungen der Erdfesten sind und werden diesen Satz später zu erhärten versuchen.

A. v. Humboldt war den gefährlichen Träumereien eines Buache von sogenannten „Seegebirgen" nicht hold gewesen. Finden wir aber bei ihm nicht mehr die Seegebirge, so behielt er doch eine andere Vorstellung des Franzosen bei, dass nämlich die Gebirge das Gezimmer (charpente) oder, wie es Athanasius Kircher mit einem anderen Bilde ausgesprochen hatte, das Skelet der Festlande (ossatura globi) vertreten. Diese Anschauung öffnete leider den Weg zu einem neuen Irrthume. Man dachte sich, und viele, vielleicht recht viele denken sich noch jetzt, dass das feste Land den Gebirgen seinen Ursprung verdanke. Zuerst erhob sich zufolge derartiger Anschauungen eine Gebirgskette aus dem Meere und richtete an ihren Abhängen Streifen Landes empor, an das sich frisches und immer frisches Gebiet ansetzte. Folgte der ersten Bergkette eine zweite in paralleler Richtung, so entstand zwischen beiden eine Hochebene. Näherten sich zwei Gebirgsketten unter steilen Winkeln, so gab es Gelegenheit, dass der Zwischenraum durch Anschwemmung von Land ausgefüllt wurde. Wirklich ist auch mancher Erdraum nur trocken geworden nach dem Aufsteigen naher Gebirge. So wurde die Gangesebene, ein ehemaliger Golf, ausgefüllt mit dem Schutt der Himalayaketten, die Poebene vom Schutt der Alpen. Ein solches Wachsthum des Landes erfordert aber stets, dass die Gebirge noch nicht sehr gealtert sind. Die letzte Hebung der Alpen gehört der jüngsten geologischen Vergangenheit an; die des Himalaya fällt noch in die tertiären Zeiten. Gebirge aber können noch so günstig zur Ansammlung von Land gegliedert sein, ohne dass deshalb Anschwemmungen sich einstellen. In der Molukkensee liegen die beiden merkwürdigen Inseln Celebes und Gilolo, beide gebirgig, beide fächerförmig ausgebreitet wie eine Hand mit vier Fingern, dem Meere drei Golfe aufschliessend, wo es Schutt absetzen könnte, ein prächtiges Gezimmer für geräumige Inseln und einen jungen Continent. Dennoch besteht Celebes nur aus secundären Felsarten, an welche sich äusserst spärlich nur hier und da tertiäres Gebiet anlehnt. Folglich dürfen wir in jener Insel nicht das erste Lebenszeichen neuer Landbildung begrüssen, sondern müssen sie vielmehr als den Rest eines gebirgigen Festlandes und diesen Rest

wieder als im Versinken begriffen betrachten, wie es sich streng ergiebt aus der Verbreitung der dortigen Thierarten.

Wir haben auch schon im vorausgehenden Abschnitt beharrlich darauf verwiesen, dass die physiognomischen Aehnlichkeiten zwischen den wagerechten Gestaltungen von Südamerika, Afrika und Australien vorhanden sind, ohne dass sie in der geringsten Abhängigkeit zu ihren senkrechten Gliederungen ständen. Wir zeigten, dass auch A. v. Humboldt diese Thatsache, die doch wenig zu seinen sonstigen geologischen Vorstellungen passte, unbedingt anerkannte. In gleichem Sinn äussert Bernhard Studer[1]): „Mehrere Verhältnisse in der Gestalt der Festländer deuten, wenn auch sehr entfernt, auf einen gemeinsamen Typus hin, der in den Gebirgssystemen bis jetzt nicht hat erkannt werden können und nur durch die Annahme allgemein wirkender Processe erklärbar ist."

Weit besser als solche Aeusserungen grosser Kenner vermag uns eine Ermittelung der Massenverhältnisse des Meeres, sowie des trockenen Landes und ein Vergleich beider von den älteren Vorstellungen zu befreien.

Indem wir uns zunächst der Betrachtung der oceanischen Tiefen zuwenden, schicken wir voraus, dass alle älteren Arbeiten hierbei ausgeschlossen bleiben, weil sie wenig vertrauenswürdig sind. Die Tiefenmessungen im Ocean sind insofern mit bedeutenden Schwierigkeiten verknüpft, als es ausserordentlich schwer ist, den Moment, in welchem das ausgeworfene Loth den Meeresgrund erreicht, auch nur annähernd zu bestimmen, und als man ferner in vielen Fällen nicht beurtheilen kann, ob die Schnur die ursprünglich senkrechte Richtung bewahrt. Nicht selten liess man früher die Leine selbst dann noch ablaufen, wenn das Loth längst auf dem Boden des Meeres angekommen war. Erfasst von unterseeischen Strömungen rollte der Faden weiter und weiter ab, und da öfter zwei entgegengesetzte Strömungen in geringerer und grösserer Tiefe vorhanden waren, so wurde die Schnur nicht selten nach zwei Seiten wie ein Segel aufgeschwellt und mochte unter dem Wasser bisweilen die Gestalt eines *S* annehmen. Der Hauptübelstand hierbei war jedoch der, dass die Anwendung eines schweren Lothes auch eine stärkere Schnur erforderlich machte, weil der Faden sonst beim Aufwärtsziehen reissen musste. War das Loth aber nicht von ansehnlicher Schwere, so spielten die Strömungen des Meeres mit dem Faden und lenkten ihn beträchtlich von seiner verticalen Richtung ab. So kam es, dass man den Atlantischen Ocean in manchen Ge-

[1]) Lehrbuch der physikalischen Geographie und Geologie. Bern, Chur und Leipzig 1847. Bd. II, S. 242.

bieten für unergründlich hielt, weil der Faden des Lothes noch immer hinabsank, nachdem er schon auf eine Länge von mehr als 8000 Faden in's Meer hinabgetaucht war. Jetzt weiss man ganz genau, dass in solchen Fällen das Blei den Boden erreicht hatte, dass aber der Faden von Strömungen ergriffen und seitwärts fortgeführt wurde.

Um zu zeigen, zu welchen Irrungen man auf diesem Wege gelangen konnte, erwähnen wir, dass für eine noch von Maury als unergründlich bezeichnete Stelle im Atlantischen Ocean zwischen Neufundland und den Azoren von dem Commander W. Chimmo im Jahre 1868 eine Tiefe von 1450 Faden gemessen wurde. Wenn ferner Sir James Clark Ross am 3. Juni 1843 zwischen der brasilianischen Küste und St. Helena (unter 15° 3′ s. Br. und 23° 14′ w. L. Gr.) selbst in der enormen Tiefe von 4600 Faden noch keinen Grund fand, so haben wir es unzweifelhaft mit einer fehlerhaften Sondirung zu thun. Dasselbe gilt von Capt. Denham's Lothungen, der im Jahre 1852 zwischen Tristan da Cunha und der südamerikanischen Küste (unter 36° 49′ s. Br. und 37° 6′ w. L. Gr.) das Gewicht angeblich bis zu der ungeheuren Tiefe von 7706 Faden hinabliess. Noch überboten wird dieses Resultat durch dasjenige des Lieut. J. P. Parker, welcher im Jahre 1852 in der Nähe der Denham'schen Messung (unter 35° 35′ s. Br. und 45° 10′ w. L. Gr.) sogar eine Tiefe von 8300 Faden ermittelte [1]).

Nach vielen erfolglosen Bemühungen, ein passendes Tiefenloth herzustellen, gelang es endlich dem Amerikaner J. M. Brooke im Jahre 1854, einen äusserst zweckmässigen Apparat zu construiren, der zwar später manigfache Verbesserungen erfuhr, im Princip aber bis heute beibehalten worden ist. Brooke's „Deep-Sea Sounding Apparatus“ (vgl. hierzu die Abbildungen desselben in C. Wyville Thomson, The Depths of the Sea. 2nd ed. London 1874. p. 211. 213) besteht im wesentlichen aus einer durchbohrten Kanonenkugel und einem Metallstab. Der Letztere führt von oben nach unten durch das Loch der Kugel hindurch und ragt beträchtlich über die beiden Enden desselben hinaus. Somit trifft die untere Spitze des Stabes eher als die Kugel auf dem Boden auf. Sobald dies geschieht, gleitet die Kugel vermöge ihrer Schwere vollends bis an das Ende des Stabes hinab. Mit dieser Bewegung aber öffnet sich durch Schnüre ein ganz einfaches, scheerenartiges Schloss an der Spitze des Stabes, wodurch die Verbindung zwischen der Kugel und dem Stab gelöst wird. Dieser verliert also die ihn beschwerende Last beim Aufstossen und kann demnach leicht wieder heraufgehoben werden. Natürlich verbleibt die Kugel

[1]) Nautical Magazine, Vol. XXII, p. 393.

auf dem Grunde des Oceans. Die Höhlung am unteren Ende des Stabes ist übrigens mit Talg oder Seife gefüllt; es haften darum auch Stoffe des Seegrundes an dem Instrumente und werden mit diesem in die Höhe gebracht. Späterhin verwandte man statt der Kugel einen 200 bis 300 Pfund schweren Cylinder, welcher in mehrere Theile zerfiel, den sog. „Hydra“-Apparat. Auch vermochte man das Gewicht der Leine, welche aus dem besten italienischen Hanf hergestellt war, um 22 Procent zu vermindern und dabei ihre Haltbarkeit um 147 Procent zu steigern. Uebrigens bedient man sich verschiedener Lothe je nach den Tiefen. Liegt der Meeresgrund nur etwa 1000 Faden tief, so wird das Blei noch heraufgezogen; nur bei grösseren Tiefen benützt man den „Hydra“-Apparat. Die Schnur, obwohl nicht dicker als ein gewöhnlicher Bleistift, gestattet doch eine Spannung von 12 Centnern. Eine solche muss gefordert werden, weil die durchnässte Schnur schwerer wird als Seewasser und ihr eigenes Gewicht demnach mit jedem neuen eingesenkten Faden wächst. Störende Einflüsse bei diesen Messungen werden sofort erkannt, wenn man während der Sondirung die Zeit genau notirt, welche das Loth braucht, um von 100 zu 100 Faden hinab zu steigen. Ein im leeren Raum fallender Körper vervielfältigt seine Geschwindigkeit mit jedem neuen Zeitintervall; Loth und Schnur aber sinken im Wasser immer langsamer, weil mit der Länge des hinabgelassenen Fadens gleichzeitig die Reibung an der Oberfläche desselben wächst. So sank das Loth der „Porcupine“

von	0	bis	100	Faden	Tiefe	in	—	Min.	45	Sec.,
„	500	„	600	„	„	„	1	„	0	„
„	1000	„	1100	„	„	„	1	„	21	„
„	1500	„	1600	„	„	„	1	„	33	„
„	2000	„	2100	„	„	„	1	„	49	„
„	2300	„	2435	„	„	„	2	„	32	„ [1]).

Rollt die Schnur, von unterseeischen Strömungen getrieben, auch dann noch weiter ab, nachdem das Loth bereits den Grund des Meeres erreicht hat, so wird dies sofort erkannt werden an der veränderten Geschwindigkeit, die von dem Momente des Aufstossens an in den meisten Fällen eine wesentlich andere und zwar öfter wohl eine gleichmässige oder beschleunigte als eine verzögerte ist.

Die Besorgniss, dass unterseeische Strömungen die senkrechte Richtung der Schnur stören, sie bogenförmig oder gar schleifenförmig verändern können, ist jetzt nicht mehr gross. Weit mehr ist eine Trü-

[1]) C. Wyville Thomson, The Depths of the Sea. 2nd ed. London 1874. p. 223.

bung der Genauigkeit durch eine Ortsveränderung des Schiffes zu fürchten. In einer halben Stunde kann ein Fahrzeug von Wind und Strömungen ziemlich weit von der Einsenkungsstelle hinweg getragen werden; deshalb sind die Lothungen am Bord der Dampfer viel vertrauenswerther, weil man auf ihnen den befürchteten Nachtheilen viel besser vorbeugen kann. Immerhin müssen wir uns sagen, dass die wirklichen Seetiefen wahrscheinlich etwas kleiner sein werden als die Ergebnisse der Sondirungen [1]).

Unter allen grösseren Meeresräumen ist keiner hinsichtlich seiner Tiefenverhältnisse besser erforscht als der Atlantische Ocean und speciell das nordatlantische Becken. Schon wenige Jahre nach der Erfindung des Brooke'schen Tiefenlothes konnte der amerikanische Hydrograph Maury es wagen, gestützt auf drei für verschiedene Zonen dieses Meeres gemessene Querschnitte, sowie auf eine grössere Anzahl zwischen diesen Linien ermittelter anderer Tiefen, eine erste Tiefenkarte des nordatlantischen Oceans zu entwerfen. Auf Grund dieser Karte, die allerdings in Folge der zahlreichen Expeditionen im Laufe des letzten Jahrzehnts bereits durch genauere Bilder verdrängt worden ist, unternahm es Peschel im Jahre 1868 zum ersten Male, die mittlere Tiefe des nordatlantischen Oceans zu berechnen. Hat nun auch das Endresultat dieser Arbeit ebenso wie die Maury'sche Tiefenkarte in neuerer Zeit eine Verschärfung erfahren, so wird das von Peschel angewandte Verfahren jedoch heute noch benützt, weshalb eine kurze Darstellung desselben geboten erscheint. Peschel berechnete zunächst einzeln die mittlere Tiefe jedes Netzvierecks von 5° geographischer Länge und 5° geographischer Breite, theils nach den wirklichen Messungen, theils nach den Schätzungen der Karte, mit Hinweglassung aller durch ein Fragezeichen verdächtigten Messungen, nie grössere Seetiefen als 4000 Faden zulassend [2]) und immer bei den Schätzungen auf die nächste niedere Grenzzahl zurückgreifend. Da Maury's Karte nur bis lat. 50° reicht, musste die Tiefe der Zone zwischen 50 und 55° nur annähernd auf 1500 Faden geschätzt werden. Dort ruht nämlich ein transatlantisches Kabel auf einer mittleren Tiefe von 1511 Faden (nach Petermann's Mittheilungen 1866, S. 433 berechnet). Für die Zone zwischen lat. 55 und 60° fehlte es damals fast gänzlich an Material. Da nach Grönland zu das Atlantische Meer sehr seicht wird, so brachte Peschel hier nur den niedrigen Werth von 500 Faden in Berechnung, einen Werth, der sich später allerdings als viel

[1]) Peschel im Ausland 1870, S. 730.

[2]) Diese Vorsicht fand später glänzende Bestätigung bei Wyviell Thomson, l. c. p. 208.

zu niedrig erwies. Es ist hier jedoch daran zu erinnern, dass es Peschel darauf ankam, eine Minimalzahl für die Tiefe des nordatlantischen Oceans zu finden. Die mittlere Tiefe desselben ist natürlich nicht das arithmetische Mittel aus den Tiefen der einzelnen Zonen, sondern sie ergiebt sich aus der Summe aller Producte der Flächen mit den Tiefen der einzelnen Zonen, getheilt durch die Summe sämmtlicher Zonenflächen.

Es ist das Verdienst Otto Krümmel's, in einer überaus sorgfältigen Arbeit nach der Methode Peschel's und unter Benützung des umfangreichsten Materials, nicht bloss für den nordatlantischen Ocean, sondern für alle Oceane die mittlere Tiefe berechnet zu haben[1]). Auf diese werthvolle Arbeit gründen sich im wesentlichen die nachfolgenden Angaben über die Tiefen der Weltmeere.

Für den nordatlantischen Ocean, den wir um der Einfachheit willen im Norden durch den nördlichen Polarkreis, im Süden durch den Aequator begrenzen, gelangten Peschel (1868) und Krümmel (1878), letzterer unter Benützung der Berghaus'schen Tiefenkarte (datirt 1877) in der neuesten Auflage von Stieler's Handatlas, zu folgenden Resultaten:

Breite.	Mittlere Zonentiefen in Faden nach Peschel.[2])	Mittlere Zonentiefen in Faden nach Krümmel.	Differenz.	Fläche in Quadrat-Kilometern nach Krümmel.
60°—55°	500	1 254	+ 754	1 805 788
55°—50°	1 500	2 331	+ 831	1 132 644
50°—45°	1 743	1 586	— 157	2 259 782
45°—40°	2 030	1 887	— 143	2 737 452
40°—35°	2 561	2 279	— 282	3 235 827
35°—30°	2 397	2 216	— 181	3 645 109
30°—25°	2 048	2 132	+ 84	3 610 915
25°—20°	2 221	2 502	+ 281	2 949 610
20°—15°	2 254	2 584	+ 330	2 701 276
15°—10°	2 184	2 509	+ 325	2 764 158
10°— 5°	2 130	2 238	+ 108	2 805 896
5°— 0°	2 317	2 132	— 185	3 072 510
60°— 0°	2 075	2 161	+ 86	32 820 965

Obwohl sich innerhalb des Decenniums, welches zwischen den beiden Berechnungen liegt, die Tiefenmessungen im nordatlantischen

[1]) Otto Krümmel, Versuch einer vergleichenden Morphologie der Meeresräume. Leipzig 1879. S. 71—101.

[2]) Ausland 1868, S. 939.

Ocean theils in Folge der Kabellegungen, theils in Folge rein wissenschaftlicher Untersuchungen ausserordentlich vermehrt haben, weichen doch die Endresultate, trotz der grossen Differenzen in den Einzelzonen, nicht weit von einander ab. Sie würden sich sicher noch mehr nähern, wenn nicht Peschel's Absicht dahin gegangen wäre, einen Minimalwerth für die durchschnittliche Tiefe des nordatlantischen Oceans zu ermitteln. Dieses Resultat ist, wie Krümmel mit Recht bemerkt, in methodologischer Beziehung deshalb wichtig, weil wir jetzt selbst bei anderen Oceanen in einer ähnlichen Lage sind wie Peschel vor zehn Jahren beim nordatlantischen.

Ausser den oben bezeichneten Gebieten gehören noch zum Atlantischen Ocean: die Davisstrasse nördlich von 60° n. B. bis zur Linie C. Walsingham-Holsteinsborg (mittlere Tiefe: 850 Faden, Fläche: 537 500 Quadrat-Kilometer), das Gebiet zwischen den Shetland-Inseln und Ostgrönland (mittlere Tiefe: 590 Faden, Fläche: 1 203 100 Qu.-Kilometer) und einige Räume im Westen von Schottland, Irland und Frankreich (mittlere Tiefe: 222 Faden, Fläche: 282 140 Qu.-Kilometer). Vereinigt man diese Werthe mit den in der obigen Tabelle angeführten, so erhält man für den ein Areal von 34 843 705 Quadrat-Kilometern (632 800 Quadratmeilen) umfassenden nordatlantischen Ocean eine mittlere Tiefe von 2086 Faden.

Für den südatlantischen Ocean [1]) standen Krümmel ausser den Lothungen des „Challenger“ und der „Gazelle“ nur die älteren Lothungen der „Hydra“ und einige neueren Nachträge des amerikanischen Schiffes „Essex“ zu Gebote. Die gewonnenen Resultate beanspruchen daher nicht einen gleichen Grad von Genauigkeit wie für den nordatlantischen Ocean. Die Ergebnisse dieser Berechnung sind folgende:

Breite.	Mittlere Tiefe in Faden.	Fläche in Quadrat-Kilometern.
0°— 5°	2 155	2 765 520
5°—10°	2 190	2 745 045
10°—15°	2 350	2 702 300
15°—20°	2 300	2 936 850
20°—25°	2 205	2 846 650
25°—30°	2 289	3 283 080
30°—35°	2 183	3 465 530
35°—40°	2 271	3 923 440

[1]) Als seine Südgrenzen gelten hierbei der südliche Polarkreis, sowie die Meridiane des Nadelcaps (rund 20° ö. L. Gr.) und des Cap Hoorn (67° w. L. Gr.).

Breite.	Mittlere Tiefe in Faden.	Fläche in Quadrat-Kilometern.
40°—45°	1 790	3 878 380
45°—50°	1 500	3 558 100
50°—66½°	1 500 [1])	10 003 140
0°—66½°	1 965	42 108 035

Demnach hat der südatlantische Ocean eine Fläche von 42 108 035 Quadrat-Kilometern (=764 726 Quadratmeilen) und eine mittlere Tiefe von 1965 Faden. Für den gesammten Atlantischen Ocean aber resultirt hieraus eine Fläche von 76 951 740 Quadrat-Kilometern (=1 397 526 Quadratmeilen) und eine mittlere Tiefe von 2 013 Faden (=3 681 Meter).

Die mittlere Tiefe der Südsee, wie der Grosse Ocean von den deutschen Seeleuten fast ausschliesslich genannt wird, war für gewisse Strecken längst schon bekannt, bevor wir durch genaue Sondirungen von ihnen unterrichtet wurden; denn die Wellen des Seebebens vom 23. December 1854, welches Simoda (Japan, südwestlich von Jedo) verheerte, rollten über die Südsee, und ihr Eintreffen wurde bei San Francisco und San Diego an der californischen Küste durch automatische Fluthhöhenmesser [2]) aufgezeichnet. Kennt man aber, wie es in diesem Falle möglich war, die Geschwindigkeit der Wellen und ihre Breite oder, mit anderen Worten, den Abstand von einem Wellenkamm zum nächsten, so lässt sich aus einer einfachen Formel des Astronomen Airy die durchschnittliche Tiefe des Oceans auf dem Pfade ermitteln, den die Wellen einschlugen. Die Geschwindigkeit derselben wird bestimmt aus der Zeit, welche sie brauchen, um von irgend welchem Ort nach einem anderen zu gelangen. Man hat hierbei einfach die Gesammtlänge des Weges durch die Anzahl der Stunden zu dividiren, in welchen er von den Fluthwellen durchlaufen wurde. So ergab sich, dass die stündliche Geschwindigkeit der Wellen in der Richtung Simoda-San Francisco 438, in der Richtung Simoda-San Diego (in Neu-Californien, hart an der mexicanischen Grenze)

[1]) Dieser Werth gründet sich nur auf drei Messungen der Challenger-Expedition.

[2]) Durch das Steigen oder Sinken des Wassers wird ein Griffel in Bewegung gesetzt, unter dem das Papierblatt von einem Uhrwerk zeitgerecht fortgerückt wird, so dass Ebbe und Fluth ihre Selbstbiographie aufzeichnen können. Die Originalblätter sind durch ein Liniennetz abgetheilt, dessen Längsstriche die Höhe des Wasserstandes, dessen Querstriche die Stunden anzeigen.

427 engl. Meilen betrug [1]). Die Breite der Wellen, von Kamm zu Kamm gemessen, lässt sich leicht aus der Dauer der Oscillationen berechnen. Eine solche vollzog sich nämlich in San Francisco in 35 und in San Diego in 31 Minuten; bei einer Geschwindigkeit von 7,3 engl. Meilen in der Minute muss also die Welle in der Richtung nach San Francisco eine Breite von 255, bei einer Geschwindigkeit von 7,1 engl. Meilen in der Richtung nach San Diego eine Breite von 220 engl. Meilen besessen haben.

Welche Beziehungen zwischen der Geschwindigkeit und Breite der Wellen einerseits und der Tiefe der See andrerseits bestehen, lehrt uns die folgende von Airy entworfene Tabelle:

Tiefe der See in engl. Fussen.	Breite der Welle in engl. Fussen: 1 000	10 000	100 000	1 000 000	10 000 000
	Stündliche Geschwindigkeit der Welle in engl. Fussen.				
1	3,86	3,86	3,86	3,86	3,86
10	12,21	12,22	12,22	12,22	12,22
100	36,40	38,64	38,66	38,66	38,66
1 000	48,77	115,11	122,18	122,27	122,27
10 000	48,77	154,25	364,92	386,40	386,66
100 000	48,77	154,25	487,79	1 151,11	1 222,27

Hieraus geht hervor, dass mit der wachsenden Breite der Wogen auch die Geschwindigkeit der Wellenbewegung zunimmt, sobald die Woge über ein tiefes Meer hinwegrollt. Ganz rein zeigt sich das Gesetz von der gegenseitigen Abhängigkeit der Geschwindigkeiten und Meerestiefen, wenn die Wogen 10 Millionen engl. Fuss breit sind, wie man dies bei einem Blick auf die letzte Zahlenreihe sofort erkennt. Man sieht nämlich, dass, wenn sich die Tiefen um das Hundertfache vergrössern, die Geschwindigkeiten sich nur um das Zehnfache steigern, mit anderen Worten: wenn die Geschwindigkeit doppelt so gross ist, muss die Seetiefe im Quadrat gewachsen sein. Wir brauchen also nur die mittlere stündliche Geschwindigkeit einer Welle, ausgedrückt in engl. Meilen, durch 3,866 zu theilen und den Quotienten mit sich selbst zu multipliciren, so finden wir die mittlere Seetiefe in englischen Fussen. Demnach lautet die Airy'sche Formel: $h = \left(\frac{v}{k}\right)^2$, wobei h die Tiefe des Meeres in engl. Fussen, v die stündliche Geschwindigkeit der Welle in englischen Meilen und k die Zahl 3,866 bedeutet. Man gelangt zu demselben Resultat, wenn man für v die Geschwindigkeit der Welle per Secunde in englischen Fussen und für k den Werth

[1]) 1 engl. Meile (Statute oder British Mile) = 5 280 engl. Fuss = 1609,3 Meter.

5,671 in Rechnung bringt. Wir erhalten demnach aus den obigen Werthen als mittlere Tiefe der Südsee zwischen Japan und San Francisco 12 836,9 e. Fuss oder 2 139,5 Faden, zwischen Japan und San Diego aber 12 199,2 e. Fuss oder 2 033,2 Faden.

Noch einen viel grösseren Reichthum solcher abgeleiteten Tiefen haben die Wellen geliefert, die sich bei den Erdstössen von Arica (Peru) am 13. August 1868 4 Uhr 45 Min. Nachm. (örtliche Zeit von Arica) theils von Südamerika nach Norden bis zu den Sandwichinseln, theils über die Südsee nach den Chatham-Inseln vor Neuseeland, nach Neuseeland selbst (Lyttelton) und nach Australien (Newcastle) verbreiteten, auch an einigen Inseln der Südsee, wie bei Apia auf Upolu (Samoa-Inseln) und dem einsam liegenden Rapa oder Oparo (27° 40′ s. Br., 144° 20′ w. L. Gr.) beobachtet worden sind und, obgleich sie theils durch Inselzonen hindurchgingen, theils sie streifen mussten, doch bis zu den Chatham-Inseln höchst beträchtliche Tiefen ergaben. Die mittlere Geschwindigkeit der Fluthwelle ist nach Peschel gleich 380 engl. Meilen in der Stunde, und da sich die Kämme mindestens in Viertelstunden folgten, so war jede Woge 95 engl. Meilen oder über 500 000 engl. Fuss breit. Die Wogen waren also breit genug, dass sich ihre Geschwindigkeit mit den wachsenden Tiefen steigern konnte, ohne dass sie die untere Grenze berührten. Die folgende Tabelle enthält alle diejenigen Werthe, welche bei Berechnung der mittleren Tiefen auf den in der ersten Columne bezeichneten Strecken in Betracht kamen[1]).

Weg der Welle von Arica nach	Entfernung von Arica aus in engl. Meilen.	Zeit, in welcher die Wellen den Weg zurücklegten.	Geschwindigkeit der Welle in engl. Meilen per Stunde.	Mittlere Seetiefen in engl. Fussen.	Mittlere Seetiefen in Faden.
den Chatham-Inseln	6 017	15 St. 50 Min.	380,02	9 662	1 610
Lyttelton (Neuseeland)	7 054	19 „ 47 „	356,58	8 506	1 418
Newcastle (Ostküste von Australien)	7 788	22 „ 57 „	343,54	7 896	1 316
Honolulu	4 288	9 „ 23 „	457,15	13 971	2 329

In gleicher Weise wie von Simoda und Arica aus verbreitete sich am 9. Mai 1877 bei dem Erdbeben von Iquique (in Peru, 2° südlich von Arica) die Störung der Gleichgewichtsebene des Meeres in Wellen-

[1]) Peschel im Ausland 1869, S. 77 ff. Wenn F. v. Hochstetter's Berechnungen zu etwas anderen Resultaten führten (vgl. Petermann's Mittheilungen 1869, S. 222—226), so hat dies hauptsächlich darin seinen Grund,

ringen über den Grossen Ocean. Aus der Geschwindigkeit ihrer Bewegung hat E. Geinitz die mittleren Tiefen des Pacifischen Oceans auf mehreren von den Wellen durchlaufenen Pfaden berechnet [1]) und ist hierbei zu den nachstehenden Ergebnissen gelangt: Die mittlere Tiefe des genannten Oceans beträgt auf dem Wege von Iquique nach

Hilo (auf der Insel Hawaii)	2 325	Faden.
Honolulu	2 220	„
Apia (Samoa-Inseln)	2 225	„
Wellington (Neuseeland)	1 424	„
Lyttelton (Neuseeland)	1 392	„
Kamaishi (Japan)	2 389	„
Hakodate (Japan)	2 150	„

Können auch derartige Berechnungen, wie schon die Differenzen ihrer Endresultate zeigen, niemals ganz zuverlässige Resultate liefern, weil es fast immer an genauen Zeitbeobachtungen fehlt und weil ferner in den meisten Fällen zahlreiche Inseln, einem Gitter gleich, die Fluthbewegung hemmen, so gewähren sie uns doch immerhin ein werthvolles Mittel, die durch directe Messungen erhaltenen Tiefenwerthe zu controliren und zu ergänzen.

Uebrigens sind wir für die Südsee durchaus nicht mehr, auch nicht einmal hauptsächlich auf die obigen Berechnungen angewiesen. Auf Grund der zahlreichen neueren Lothungen, von denen die meisten auf der „Tuscarora“, dem „Challenger“ und der „Gazelle“ ausgeführt wurden, konnte es Petermann im Jahre 1877 unternehmen, eine Tiefenkarte der Südsee zu entwerfen [2]), und damit war die Möglichkeit gegeben, auch die mittlere Tiefe dieses Weltmeeres annähernd zu berechnen. Dieser Arbeit unterzog sich zuerst Alex. Supan [3]) und

dass Peschel den Abgang der Welle um 4 Uhr 45 Min., v. Hochstetter aber um 5 Uhr 15 Min. ansetzt. Nach v. Hochstetter beträgt die Tiefe der Südsee von Arica

nach	den Chatham-Inseln	1 912	Faden.
„	Lyttelton	1 473	„
„	Rapa	1 933	„
„	Newcastle	1 501	„
„	Apia	1 891	„
„	{Honolulu	2 882	„
„	{Sandwich-Inseln	2 565	„

[1]) Petermann's Mittheilungen 1877, S. 454—466. Die von Peschel und Geinitz berechneten Werthe (Arica-Lyttelton und Iquique-Lyttelton, Arica-Honolulu und Iquique-Honolulu) stimmen besser zu einander als zu denen von F. v. Hochstetter. Die von den ersteren benützten Zeitbestimmungen scheinen demnach correcter zu sein.

[2]) Petermann's Mittheilungen 1877, Tafel VII.

[3]) Petermann's Mittheilungen 1878, S. 213 ff.

fast gleichzeitig Otto Krümmel[1]). Beide benützten als Grundlage die erwähnte Petermann'sche Karte; doch brachte Krümmel vorher erst zwei Correcturen auf derselben an: er löste die „Tuscaroratiefe", welche nach Petermann den ganzen Norden des Stillen Oceans beherrscht, in mehrere ungleiche Vertiefungen auf und erkannte, gestützt auf die obigen Berechnungen der Erdbebenfluthen, dem Raume im Süden des südlichen Wendekreises zwischen 125° w. L. Gr. und Südamerika nur eine durchschnittliche Tiefe von 1 500 Faden zu. Die Endresultate seiner Berechnung, welchen wir zugleich die von Supan ermittelten Werthe beifügen, lauten[2]):

Breite.	Mittlere Tiefe in Faden nach Krümmel.	Fläche in Quadrat-Kilometern nach Krümmel.	Mittlere Tiefe in Faden nach Supan.
60—55° n. Br.	580	2 001 960	
55—50° n. Br.	1 899	2 643 340	1 728 [3])
50—45° n. Br.	2 490	3 348 800	2 418
45—40° n. Br.	2 783	4 106 520	
40—35° n. Br.	2 738	4 659 085	2 231
35—30° n. Br.	2 475	5 468 295	
30—25° n. Br.	2 146	6 018 980	2 177
25—20° n. Br.	2 343	7 116 625	
20—15° n. Br.	2 204	7 635 810	2 065
15—10° n. Br.	2 461	8 713 340	
10— 5° n. Br.	2 180	8 845 145	1 837
5— 0° n. Br.	2 231	9 218 400	
Davon ab: Theil der Berings-See	850	1 608 500	
Nördlicher Theil der Südsee	2 326	68 167 800	
0— 5° s. Br.	2 209	7 989 280	1 811
5—10° s. Br.	2 098	7 930 130	
10—15° s. Br.	2 012	7 811 960	1 775
15—20° s. Br.	2 065	7 929 495	

[1]) l. c. S. 79 ff.

[2]) Der Stille Ocean wurde hierbei im Süden begrenzt durch die Meridiane des Cap Hoorn (67° w. L. Gr.) und der Südspitze Tasmanien's (146° ö. L. Gr.), sowie durch den südlichen Polarkreis.

[3]) Mittlere Tiefe zwischen 54—50° n. Br.

Breite.	Mittlere Tiefe in Faden nach Krümmel.	Fläche in Quadrat-Kilometern nach Krümmel.	Mittlere Tiefe in Faden nach Supan.
20—25° s. Br.	1 861	7 970 620	1 467 (20—30°)
25—30° s. Br.	1 931	7 113 340	
30—35° s. Br.	1 956	6 509 875	1 541 (30—40°)
35—40° s. Br.	2 042	5 730 375	
40—45° s. Br.	1 993	5 703 500	1 519 (40—50°)
45—50° s. Br.	1 919	5 274 360	
50—66½° s. Br.	1 800	15 736 560	
Südlicher Theil der Südsee.	1 971	85 699 485	
Ganze Südsee	2 126	153 867 285 [1]	1 842

Demnach differiren die beiden Endresultate um 284 Faden; doch scheint sich nach der vorliegenden Tiefenkarte von Petermann das Krümmel'sche Resultat der Wahrheit mehr zu nähern als das Supan'sche; insbesondere sind bei der Supan'schen Berechnung die auf die Geschwindigkeit der Fluthwellen gegründeten Tiefenwerthe zwischen 20 und 50° s. Br. jedenfalls zu niedrig angesetzt.

Für den Indischen Ocean, dessen Wassergrenzen wir im Anschluss an die obige Begrenzung des Atlantischen Oceans und der Südsee nach den Meridianen des Nadelcaps (20° ö. L. Gr.) und der Südspitze Tasmanien's (146° ö. L. Gr.), sowie nach dem südlichen Polarkreis verlegen, hat Krümmel folgende Tiefenwerthe gefunden:

Breite.	Mittlere Tiefe in Faden.	Fläche in Quadrat-Kilometern.
Nördlich von 20° n. Br.	868	797 188
20—15° n. Br.	1 214	1 869 984
15—10° n. Br.	1 820	2 764 278
10— 5° n. Br.	1 630	2 958 500
5— 0° n. Br.	1 990	3 257 168
0— 5° s. Br.	2 170	3 779 544
5—10° s. Br.	1 920	4 078 500
10—15° s. Br.	2 030	4 416 815
15—20° s. Br.	2 210	4 178 245

[1]) Eine genauere Ermittelung des Areals nach H. Wagner's Umrisskarte ergab 158 201 490 Quadrat-Kilometer (2 873 105 Quadratmeilen), welche Grösse auch in der Schlussberechnung verwandt wurde.

Breite.	Mittlere Tiefe in Faden.	Fläche in Quadrat-Kilometern.
20—25° s. Br.	2 250	4 242 180
25—30° s. Br.	2 270	4 412 158
30—35° s. Br.	1 980	4 581 280
35—40° s. Br.	1 800	4 659 085
40—66½° s. Br.	1 500	18 404 825
Gebiet östlich von 115° ö. L. Gr. bis zur Linie Rotti [1]) - C. Bougainville [2])	1 125	1 236 785
Gebiet zwischen 115 u. 147° ö. L. Gr., sowie zwischen der Südgrenze Australien's und dem südlichen Polarkreis	1 822	8 163 838
Ganzer Indischer Ocean	1 829	73 800 373

Demnach hat der Indische Ocean unter den drei grossen offenen Weltmeeren die geringste Tiefe.

Ueber die Tiefenverhältnisse des nördlichen Eismeeres sind wir soweit gut unterrichtet, als die Polarfahrer nach dem Norden vorgedrungen sind. Für diesen Theil, der in der Grönlandsee zwischen 74 und 84° n. Br., 20° w.—10° ö. L. Gr. die grösste durchschnittliche Tiefe (2 000 Faden) erreicht, hingegen in dem Beauforts-Meer südlich 71° n. Br., dem Weissen und Karischen Meer nur 30, resp. 40 und 55 Faden tief ist, berechnet Krümmel eine mittlere Tiefe von 542 Faden und ein Areal von 9 360 540 Quadrat-Kilometern. Nimmt man für den übrigen, noch völlig unbekannten Theil ein Areal von 4 218 150 Quadrat-Kilometern und eine mittlere Tiefe von 1 500 Faden an, so erhält man als Areal des ganzen nördlichen Eismeeres 13 578 690 Quadrat-Kilometer (246 600 Quadratmeilen) und als mittlere Tiefe desselben 845 Faden.

Für das südliche Eismeer sind wir lediglich auf Schätzungen angewiesen. Krümmel veranschlagt die mittlere Tiefe auf 1 800 Faden und den Flächeninhalt auf 20 648 600 Quadrat-Kilometer (375 000 Quadratmeilen), bezeichnet jedoch diese höchst zweifelhaften Werthe mit Fragezeichen.

Nach Krümmel sind Folgendes die mittleren Tiefen und die Areale der Oceane, sowie der ihnen zugehörigen Mittel- und Randmeere:

[1]) Insel südwestlich von Timor.

[2]) An der Küste des Tasman-Landes in Nordwest-Australien.

	Tiefe in Faden.	Areal in Quadrat-Kilometern.	Areal in Quadrat-meilen.
1. Atlantischer Ocean	2 013	76 951 740	1 397 526
2. Südsee	2 126	158 201 490	2 873 105
3. Indischer Ocean	1 829	73 800 373	1 340 295
Offene Oceane	2 026	308 953 603	5 610 926
4. Südliches Eismeer	1 800 ?	20 648 600 ?	375 000 ?
5. Nördliches Eismeer	845	13 578 690	246 600
6. Ostsee	36	415 480	7 545
7. Mittelländisches Meer	729	2 885 522	52 405
8. Mex. Golf, Bahama-See, Caraibisches Meer	1 001	4 554 138	82 710
9. Australasiatisches Mittelmeer	487	7 857 585	142 700
10. Persischer Golf	20	236 835	4 300
11. Rothes Meer	243	449 010	8 075
Mittelmeere	738	29 977 260	544 335
12. Nordsee	48	547 623	9 945
13. Canal, Irische See und Nachbargebiete	47	203 690	3 700
14. Golf von St. Lorenz	160	262 900	4 775
15. Beringsmeer	550	2 249 000	40 845
16. Ochotskisches Meer	690	1 438 740	26 130
17. Japanisches Meer	1 200	996 250	18 105
18. Ostchinesisches Meer	66	1 228 440	22 310
Randmeere	519	6 926 643	125 810
Sämmtliche Weltmeere	1 880	366 506 106	6 656 071

Das Ergebniss dieser Untersuchungen ist, dass wir den offenen Oceanen eine Tiefe von c. 2 000 Faden zuschreiben dürfen, also eine beträchtlich geringere Tiefe als diejenige, welche bisher von den meisten Physikern den Weltmeeren zuerkannt worden ist, nämlich 2 500 Faden. Nur Wyville Thomson's Vermuthung betreffs der mittleren oceanischen Tiefen wird durch jenes Endresultat in überraschender Weise bestätigt; denn wir lesen in seinen „Depths of the Sea“ (2nd ed. London 1874. p. 228): „The average depth of the ocean bed does not appear to be much more than 2 000 fathoms.“ Durch die seichteren Randmeere der Oceane wird dieser Mittelwerth nur auf 1 880 Faden (= 3 438 Meter) vermindert.

Das rechte Licht gewinnen die besprochenen Tiefenverhältnisse der Oceane erst dann, wenn wir die mittlere Höhe der Festlande mit ihnen vergleichen. Während man vor A. v. Humboldt nur die Höhen von Gipfeln oder Pässen zu bestimmen gesucht hatte, wagte A. v. Humboldt den ersten Versuch, die mittlere Erhebung des festen Landes über den Meeresspiegel zu berechnen, und zeigte damit, was das letzte Ziel der plastischen Erdkunde sein müsse. Denkt man sich alle Gebirge und Hochlande eines Welttheiles, so weit ihr Rauminhalt reicht, bis zu den Küsten gleichmässig ausgestrichen, so fragt es sich, wie hoch dann eine solche allgemeine Ebene sein würde. Für den Vergleich der Welttheile unter einander und mit den allgemeinen Meerestiefen ist eine solche genaue Bestimmung des überseeischen Rauminhalts der Welttheile von grösster Wichtigkeit.

Laplace hatte in seinem berühmten Werke „Mécanique céleste" die Aeusserung hingeworfen, dass die mittlere Höhe der Festlande 1 000 Meter nicht übersteige. A. v. Humboldt erkannte sehr bald, dass Laplace's Schätzung als Grenzzahl noch viel zu hoch gegriffen gewesen sei und beabsichtigte nun, den höchsten Grenzwerth festzustellen, welchen man der mittleren Höhe der Continente zuschreiben dürfe. Folgendes sind die Ergebnisse seiner Rechnung [1]), denen wir eine Umwandlung in Fadenmass und die Oberflächenausdehnung der Continente [2]) hinzufügen:

	Mittlere Höhen in Metern.	Mittlere Höhen in Faden.	Oberflächen in geogr. Quadratmeilen.
Asien	351	192	814 995
Amerika	285	156	743 819
Europa	205	112	178 150
Afrika			543 570
Australien und Polynesien			161 108
			2 441 642

Weder für Afrika noch für Australien hatte A. v. Humboldt eine Grenzzahl angesetzt, weil zu jener Zeit das Innere beider Fest-

[1]) Sie wurde 1843 zuerst veröffentlicht (vgl. Centralasien. Deutsch von Mahlmann. Berlin 1844. Bd. I, S. 120—133) und erschien mit Verbesserungen 1853 unter dem Titel: „Ueber die mittlere Höhe der Continente" — in den Kleineren Schriften. Stuttgart und Tübingen 1853. Bd. I, S. 398—446.

[2]) Nach Behm, Geographisches Jahrbuch. Bd. I (1866), S. 128.

lande beinahe gänzlich unbekannt war. Für die berechneten Continente aber erhielt er einen Mittelwerth von 308 Metern oder 168 Faden. Auch jetzt lässt sich für Afrika und Australien irgend eine Zahl noch nicht ermitteln, weil es dazu an den erforderlichen senkrechten Querschnitten, überhaupt an der erforderlichen Fülle von Höhenangaben fehlt; doch ist unsere sonstige Kenntniss beider Festlande so rasch fortgeschritten, dass wir keinen Widerspruch zu befürchten haben, wenn wir Afrika die gleiche mittlere Höhe wie Asien, Australien nahezu die gleiche mittlere Höhe wie Europa einstweilen zugestehen. Die mittlere Höhe der sämmtlichen Festlande würde dann nach den Humboldt'schen Ziffern und mit Beiziehung Afrika's und Australien's 171 Faden betragen.

So verdienstvoll A. v. Humboldt's Arbeit auch seiner Zeit war, so haben doch neuere Arbeiten, bei denen eine schärfere Methode und ein viel ansehnlicheres Höhenmaterial zur Geltung gelangten, dargethan, dass sie bedeutende Correctionen erfahren muss. Die ersten Zweifel an der Richtigkeit der Humboldt'schen Ziffern, soweit sie sich auf die Volumenberechnung der Gebirge beziehen, äusserte C. v. Sonklar in seinem Werke über die Oetzthaler Gruppe [1]; noch deutlicher trat dies später bei seinen orometrischen Untersuchungen hervor [2]. Der Herausgeber dieses Werkes hat es selbst unternommen, mit Hilfe eines reichen Materials und unter Anwendung verschiedener Rechnungsmethoden die mittlere Höhe unseres Continentes neu zu berechnen [3]. Für die einzelnen europäischen Länder wurden hierbei folgende mittlere Höhen gefunden, denen wir das Areal und ihre Wirkung beim Aufbau des Continentes beifügen:

Staaten.	Mittlere Höhe in Metern.	Areal in Quadratmeilen.	Effect auf den Continent in Metern.
1. Russland	167,09	96 450	90,46
2. Iberische Halbinsel	700,60	10 994	43,24
3. Skandinavien	428,10	13 825	33,22
4. Oesterreich (excl. Bosnien)	517,87	11 308	32,87
5. Oströmische Halbinsel	579,50	8 202	26,68
6. Frankreich	393,84	9 587	21,19
7. Apenninische Halbinsel	517,17	5 382	15,62
8. Deutsches Reich	213,66	9 932	11,91

[1] C. v. Sonklar, Die Oetzthaler Gebirgsgruppe. Gotha 1860. S. 16. 262 ff.

[2] C. v. Sonklar, Allgemeine Orographie. Wien 1873.

[3] Gustav Leipoldt, Ueber die mittlere Höhe Europa's. Plauen i.V. 1874.

Staaten.	Mittlere Höhe in Metern.	Areal in Quadratmeilen.	Effect auf den Continent in Metern.
9. Grossbritannien	217,70	5 768	7,05
10. Schweiz	1 299,91	740	5,40
11. Dänemark incl. Island	352,18	2 587	5,11
(excl. Island)	(35,20)		
12. Rumänien	282,28	2 197	3,48
13. Belgien	163,36	535	0,49
14. Holland	48,83	643 (wovon 268 unter dem Niveau des Meeresspiegels.)	0,10

Das Endresultat lautet: Europa besitzt eine mittlere Höhe von 296,838 Metern (913,8 P. Fuss). Dieses Resultat aber übersteigt das Humboldt'sche (205 Meter oder 630 P. Fuss) um mehr als 90 Meter (280 Fuss). Wenn nun schon Europa, nach Australien unzweifelhaft der niedrigste Erdtheil, eine mittlere Massenerhebung von 300 Metern besitzt, so kann diese Zahl nicht als ein Maximal-, sondern höchstens als ein Minimalwerth der mittleren Höhe sämmtlicher Continente betrachtet werden. Wahrscheinlich sind auch die übrigen Erdtheile gleich Europa um 45 Procent höher, als die Humboldt'sche Rechnung besagt; speciell für Asien dürfte diese Erhöhung kaum ausreichend sein. Wir werden uns daher der Wahrheit beträchtlich nähern, wenn wir folgende Werthe für die mittlere Höhe der Continente annehmen:

Europa 300 Meter,
Asien 500 „
Afrika 500 „
Amerika 410 „
Australien 250 „ [1]).

Hieraus aber ergiebt sich eine mittlere Höhe sämmtlicher Continente von 440 Metern (240 Faden).

Doch wozu diese vielen statistischen Nachweise und Berechnungen? Das Folgende wird unsere obigen Ausführungen rechtfertigen, und es wird sich zeigen, dass dieselben nicht bloss eine müssige Zahlenspielerei sind. Haben die Weltmeere eine mittlere Tiefe von 1 880 Faden und die Continente eine durchschnittliche Erhebung von 240 Faden, so ist die letztere nahezu 8mal geringer als die erstere. Da nun der Flächeninhalt des nordatlantischen Beckens den vierten Theil (genauer 0,26) der Oberfläche sämmtlicher Festlande und seine Tiefe 2 086 Faden beträgt, so vermöchte es in seiner Höhlung mehr als das

[1]) Vgl. hierzu Otto Krümmel, l. c. S. 106.

Doppelte (genauer 2,26 : 1) sämmtlicher über den Meeresspiegel aufsteigenden Unebenheiten der Erde in sich aufzunehmen. Mit anderen Worten könnten wir auch sagen, dass sämmtliche Unebenheiten der Erdoberfläche, bis zum Meeresspiegel abgetragen und in das nordatlantische Meer gestürzt, dessen mittlere Tiefe von 2 086 nur auf 1 163 Faden verkürzen würden. Wollte man die Sockel der Festlande unter dem Meeresspiegel soweit entfernen, dass sie durch die Einschüttung mit der Sohle des nordatlantischen Meeres eine Ebene darstellten, so würde der übrige hohle Raum noch genügen für einen Ocean, der über die nordatlantische Oberfläche und über die verschwundenen Festlande immerhin noch mit einer Tiefe von 240 Faden oder 440 Metern, also genau fünfmal tiefer als durchschnittlich die Nordsee sich ausbreiten würde.

Mit diesen Berechnungen wurde zunächst nur beabsichtigt, eine schon vielfach ausgesprochene Wahrheit frisch und eindrucksvoll zu wiederholen, dass nämlich unsere Festlande als gewaltige Hochebenen über die Sohle der Oceane emporragen. Vom Boden der oceanischen Becken betrachtet würden die Küstenränder der Erdfesten aufsteigen als Hochebenen von 1 880 Faden Höhe, also ansehnlich höher, als sich der Kamm der Berner Alpen über das Meeresniveau erhebt. Wie ganz anders beurtheilen wir jetzt die Erdkräfte, welche Inseln mitten aus oceanischen Tiefen auftauchen hiessen! Wie ganz anders klingen die Worte von der Hebung der Continente! Welchen neuen überraschenden Sinn hat der Ausdruck Neue Welt für den transatlantischen Continent in unserem Munde gewonnen, seit wir wissen, welches tiefe Thal uns von dem atlantischen Jenseits trennt! Oft genug hat man die See eine grosse Heerstrasse der Menschheit genannt; jetzt erscheint sie wie ein herrlicher Brückenbogen, welcher die Ränder zweier Hochlande, Europa's und Amerika's, verbindet, damit über unergründliche Tiefen der Handel sich sicher hin- und herbewege [1]).

Neben den gewaltigen Bauwerken der Continente verschwinden, wenn man die Körpermassen vergleicht, alle Unebenheiten der trockenen Oberfläche als geringfügig. Ist auch den Pyrenäen und Alpen nicht jener geringe Effect bei dem Aufbau unseres Continentes zuzuschreiben, wie ihn A. v. Humboldt einst berechnete, nämlich 2, resp. 6,5 Meter [2]), so ist derselbe doch immerhin relativ unbedeutend; denn die Masse der Pyrenäen würde, gleichmässig über die Fläche von Europa vertheilt, unseren Erdtheil nur um 5,1 Meter, die der Alpen in gleicher Weise nur um 27,23 Meter erhöhen [3]). Wenn fest-

[1]) Peschel im Ausland 1859, S. 1147.
[2]) A. v. Humboldt, Kleinere Schriften. Bd. I, S. 409.
[3]) G. Leipoldt, l. c. S. 46. 31.

ländische Hochebenen von Bergketten durchzogen werden, so sagen wir, diese Gebirge seien den Hochebenen aufgesetzt, und niemandem kommt es in den Sinn, den Bau der Hochebenen in Abhängigkeit zu denken von den örtlichen Unebenheiten ihrer Oberfläche. Die Festlande sind aber, wie wir zeigten, gewaltige Hochebenen, vom Sockel des Meeresgrundes aufgebaut, und was wir Gebirge nennen, ist auch diesen Hochebenen nur aufgesetzt. Wenn wir nun sehen, dass am westlichen Saume von Südamerika die Andenketten überall das Ufer begrenzen — wollen wir uns noch länger vorstellen, dass sie es sind, die den Bau des Welttheiles bestimmen? Sollten wir uns nicht lieber hüten vor der Behauptung: das westliche Ufer Südamerika's folge seinen Gebirgen? Dürfen wir uns nicht schon jetzt eingestehen, dass die Anden den Uferlinien des Welttheiles folgen?

Sind unsere Festlande, von der Sohle der Weltmeere betrachtet, Hochebenen, so muss es uns den tiefsten Eindruck hinterlassen, ja beinahe wie eine Ueberraschung wirken, dass das Feste der Erde unter sich einen Zusammenhang besitzt. Wenn wir das kleine grönländische Festland und die seit Sir James Ross völlig gemiedenen Länder am Südpol unbeachtet lassen, so besteht alles Trockene nur aus drei Weltinseln, nämlich aus der Alten Welt, Amerika und Australien; ja, das letztere besass noch bis zur tertiären Zeit eine Verbindung mit Asien, wie umgekehrt Europa damals mit Nordamerika zusammenhing. Die Verbindung des Trockenen zu geschlossenen Massen ist gewiss nichts Unwesentliches und noch weniger etwas Gleichgiltiges; denn wir dürfen nur daran denken, dass sich die Volumina der Continente, so weit sie über dem Meeresspiegel liegen (146 750 Cubikmeilen), und der Weltmeere (3 144 380 Cubikmeilen) zu einander verhalten wie 1 : 21,4258. Man könnte also die festländischen Massen 21,4 mal in die vom Meere erfüllten Räume hineinschütten[1]). Würden alle Unebenheiten der Festlande bis zum Wasserspiegel abgeführt und in die Weltmeere geworfen, so hätten die letzteren nur einen Verlust von $87\frac{3}{4}$ Faden (160,5 Meter) zu erleiden, und durch eine vollständige Ausebnung der Festlandskörper mit der Sohle der Oceane würde die mittlere Tiefe der Weltmeere von 1880 Faden nur auf $1378\frac{2}{3}$ Faden vermindert werden. Nach diesem Ziele einer völligen Ausglättung der Oberfläche ringt aber der Ocean an allen Strecken, wo es ihm verstattet ist, seine Kräfte zu regen, indem er mit Saturnshunger seine eigenen Kinder, die Festlande, wieder aufzehrt. Das Einbrechen des Oceans als Nordsee und als Aermelcanal, welches die britischen Inseln von unserem Festlande trennte, ist ein sehr junges Ereigniss, und das

[1]) O. Krümmel, l. c. S. 102–106.

Zerstörungswerk schreitet noch jetzt alljährlich fort. Ist einmal ein Stück Erdboden vom übrigen Festlande abgelöst, so wächst mit der relativen Zunahme seiner Uferstrecken, wenn alle anderen Bedingungen sich gleich bleiben, der Reibungsverlust an der Küste. Alle Inselwelten oder Archipele, die keinen vulcanischen Ursprung haben und nicht von Korallen aufgebaut sind, liegen nur zwischen der Annäherung zweier Festlande, wie die malayischen Inseln zwischen Asien und Australien, die griechischen Inseln zwischen Europa und Kleinasien, die Inseln des amerikanischen Polarmeeres zwischen dem Norden der Neuen Welt und Grönland, die dänischen Inseln zwischen Deutschland und Skandinavien, die Antillen zwischen Süd- und Nordamerika. Wir haben sie daher als den Schlussact eines geologischen Drama's, als den Anfang des Endes, nämlich der völligen Abtrennung von Continentalmassen, zu betrachten. Je mehr die Länder zu einem Ganzen sich zusammenschliessen, desto besser können sie sich gegen den Ocean vertheidigen, desto geringer werden die Reibungsverluste an den Küsten zum Flächeninhalt des Ganzen werden, desto leichter lässt sich durch Aufschüttungen der Ströme an günstigen Stellen wieder ersetzen, was an anderen verloren ging. Das Raumverhältniss des Trockenen zum Nassen auf der Erde lässt sich in runden Ziffern wie 1 : 2,75 ausdrücken [1]). Im Kleinen findet sich diese Vertheilung in der Inselwelt zwischen Asien und Australien wieder. Wollte man sich vorstellen, dass in irgend einer geologischen Vergangenheit Festes und Trockenes auf der ganzen Erde so vertheilt gewesen wären wie im Gebiete der Sunda- und Molukken-Seen, so würde es dann Ebbe und Fluth nicht gegeben haben, oder diese Schwankungen des Meeresspiegels müssten in den überall eingeschlossenen Wasserflächen sehr geringfügig, jedenfalls viel geringfügiger als gegenwärtig gewesen und dadurch eine Bewegung (Kraft) weggefallen sein, die dem Trockenen stets als schädlich sich erwiesen hat. Allein ist nach den Tiefen- und Höhenverhältnissen der Oceane und der Festlande eine solche allgemeine Auflösung in Inselwelten überhaupt denkbar? Niemals würde zwischen solchen Inselgruppen der Ocean bis zu einer mittleren Tiefe

[1]) Genauer ist das Verhältniss folgendes: Das Areal der Erdoberfläche wird jetzt auf rund 9 261 000 geogr. Quadratmeilen geschätzt. Bringt man für die Continentalflächen 2 454 000, sowie für die hierin nicht begriffenen Nordpolarländer 10 000 und für die Südpolarländer 11 000 Quadratmeilen in Berechnung, so ergiebt sich für die Länderräume ein Areal von 2 475 000, für die Meeresräume also von 6 786 000 Quadratmeilen, somit ein Flächenverhältniss von Land zu Meer wie 1 : 2,75. Die von Krümmel berechneten Meeresareale, welche wir oben anführten, sind demnach, worauf Krümmel selbst aufmerksam macht, um mehrere Procente zu klein.

von 1 880 Faden herabreichen können; denn alle eben aufgezählten Inselwelten, die wir als zerstörte Reste von Festlanden erkannt haben, liegen auf seichtem Meeresgrunde. Wir sehen also, dass nicht nur der Flächeninhalt des Trockenen in streng arithmetischer Abhängigkeit von der mittleren Meerestiefe steht (er könnte sich nur steigern, wenn die Meerestiefe zunähme), sondern dass von dieser auch wieder bis zu einem gewissen Grad die Gestaltung des Trockenen beherrscht wird; denn durch unsere Betrachtung gewinnen wir den Satz, dass zu allen geologischen Zeiten das Trockene der Erde in geschlossenen Landmassen aufgetreten sein müsse. Es ist auch nicht gut denkbar, dass, seitdem die Continente annähernd ihre heutige Gestalt besitzen, das Verhältniss von 1 : 2,75 zwischen Nassem und Festem stark geschwankt haben könnte; denn erlitte das Trockene jemals eine beträchtliche Verminderung, so würde der Ocean viel leichteres Spiel mit dem Reste haben. Die zerstörenden und die schaffenden Kräfte müssen also wohl im Gleichgewicht stehen, und den Ausdruck dieses Gleichgewichts finden wir in dem Werthe von 1 : 2,75.

Auf eine höchst überraschende Thatsache hat uns neuerdings Otto Krümmel in seinem schon mehrfach erwähnten Werke „Versuch einer vergleichenden Morphologie der Meeresräume" (S. 102 ff.) aufmerksam gemacht. Er untersuchte nämlich das Gewicht der „Erdfesten", d. i. der Festlandmassive, gerechnet vom mittleren Niveau des Meeres**bodens** ab, und das Gewicht sämmtlicher Meere. Indem er für die „Erdfesten" eine Fläche von 2 475 000 Quadratmeilen und eine Höhe von 0,522 659 Meilen annahm, ergab sich für dieselben ein Volumen von 1 293 580 Cubikmeilen und, eine Dichtigkeit derselben von 2,5 vorausgesetzt, ein Gewicht von 1 321 375 Billionen Tonnen. Ferner fand er als Volumen des Weltmeeres, dessen Areal 6 786 000 Quadratmeilen und dessen Tiefe 1 880 Faden = 0,463 363 geogr. Meilen beträgt, 3 144 380 Cubikmeilen, welche Wassermenge bei einer mittleren specifischen Schwere von 1,02922 1 322 355 Billionen Tonnen wiegt. Demnach besteht zwischen den Massen des Meeres und der Erdfesten nahezu Gleichgewicht.

Krümmel hütet sich, über die Begründung oder die Zweckmässigkeit eines solchen Gleichgewichts der Land- und Meermassen Speculationen anzustellen, weil dies Sache der Physiker und Astronomen sei; doch scheint er dasselbe nicht bloss als ein zufälliges, sondern als ein nothwendiges anzusehen. Diese Anschauung erweckt jedoch bei uns gewisse Bedenken. Die Geologie belehrt uns, dass im laurentischen Zeitalter wahrscheinlich der ganze Erdkreis von einer Wasserhülle bedeckt war und dass im huronischen und silurischen Zeitalter die ersten grösseren Weltinseln aus dem allgemeinen Welt-

meere auftauchten. Da für die letztgenannten beiden Perioden organisches Leben mit Sicherheit nachgewiesen ist, so steht zweifellos fest, dass das Wasser damals nicht bloss in Dampf- und Gasform die Atmosphäre erfüllte, sondern bereits als tiefe See die Erdoberfläche bedeckte. Jene Weltinseln wurden erst im Laufe der folgenden geologischen Bildungsabschnitte zu weit ausgedehnten Continenten; somit herrschte jedenfalls anfänglich kein Gleichgewicht zwischen den Massen des Meeres und der Erdfesten. Welche Ursachen sollten nun damals ein solches verhindert haben und jetzt ein solches fordern? Auch scheint uns ein Factor in der Krümmel'schen Berechnung zu fehlen. Die Erdfesten werden in derselben so betrachtet, als ob sie an ihren Rändern senkrecht in oceanische Tiefen hinabsinken, während doch die submarinen Abhänge der Erdfesten meist ausserordentlich sanft geneigt sind. Werden aber die zum Theil sehr ausgedehnten submarinen Räume der Erdfesten mit in Rechnung gebracht, dann ist jenes Gleichgewicht nicht unwesentlich gestört. Die Krümmel'sche Idee von einem Gleichgewicht der Meeres- und Festlandsmassen bleibt uns daher, so anziehend und geistreich sie auch ist, so lange eine Hypothese, als die obigen Bedenken nicht beseitigt werden können.

Ganz verschieden sind die geologischen Schicksale des trockenen Erdbodens und der oceanischen Sohle; denn jener ist völlig entblösst, diese mit einer schützenden Decke versehen. Das trockene Land empfindet zunächst die Temperaturschwankungen des Luftkreises, die, wenn sie auch nicht tief reichen, immerhin die Oberfläche beständig ausdehnen und zusammenziehen. Namentlich ist in neuerer Zeit die zerstörende Kraft der Besonnung zuerst von Livingstone an südafrikanischen Felswänden erkannt worden; Fraas sah concentrische Schalen von Kieselsphären unter der Berührung der Sonnenwärme springen, und eine gleiche Beobachtung wurde im Jahre 1867 von einem deutschen Ingenieur in Brasilien mitgetheilt[1]). Das offene Land ist ferner den Sprengwirkungen gefrierenden Wassers in Spalten ausgesetzt; es wird vom Regen zernagt und abgespült; durch Klüfte findet die Luft, finden die süssen Meteorwasser Zutritt zu tieferen Schichten; sie sättigen sich auf dem Wege mit Säuren, welche Felsenbestandtheile auflösen, und bringen dadurch eine chemische Zersetzung hervor, deren grossartige Wirkungen wir aus Gustav Bischof's genauen Untersuchungen kennen.

Die Sohle des Oceans dagegen ist vor den zerstörenden Kräften des Luftkreises gut geschützt. Ferner lastet auf jedem Quadratcenti-

[1]) Livingstone, Zambesi. p. 493. O. Fraas, Aus dem Orient. Stuttgart 1867. S. 38 f. Ausland 1867, S. 1221 f.

meter Meeresboden ausser dem Gewicht der Luft noch der Druck einer durchschnittlich 3 438 Meter hohen Wassersäule. Abreibung durch Meeresströmungen findet nur in seichten Seen und an den oberen Rändern der oceanischen Beckenwände statt. Sie hört unter dem Golfstrome nach Ehrenberg's Ermittelungen bei 92 Faden Tiefe gänzlich auf [1]). Allerdings können die Meeresströmungen, selbst die von den Winden erzeugten, bis zu der grössten oceanischen Tiefe hinab wirken (vgl. den Abschnitt über Meeresströmungen); doch verlieren sie hier fast alle Energie ihrer Bewegung und dürften deshalb, insofern sie überhaupt schwebende Bestandtheile noch zu transportiren vermögen, durch ihre ausgleichende Thätigkeit die sanfteren Undulationen des Meeresgrundes eher herbeiführen als beseitigen. Endlich erfolgt auf hoher See, fern vom Lande, ein gleichmässiger Niederschlag von erdigen Stoffen; denn der ehemalige Meeresboden erscheint, wo er sanft gehoben wurde, völlig horizontal, wie auch alle Schichtungen und inneren Stockwerke der Felsen parallel oder nur unter sehr spitzen Winkeln verlaufen.

Die bisher in allen Meeren angestellten Sondirungen bestätigen dies in der That. Bei der 14. Sondirungsstelle des ersten atlantischen Telegraphenkabels, also in der Mitte des atlantischen Seebodens, hat man zwar eine ansehnliche örtliche Erhebung gemessen, eine Anhäufung von Geschieben, die bei einer Grundlage von 18,9 geogr. Meilen theils um 648 Meter nach Neufundland, theils um 916 Meter nach Irland zu sich senkt. Beträgt daher das Gefäll des östlichen Abhanges 1 : 76, so könnte doch ein Eisenbahnzug ohne Schwierigkeiten in gerader Linie diese schiefe Ebene aufwärts fahren.

Sonst aber sind dort die Neigungen bei grossem Abstand von der Küste sehr gering. Auf der Strecke von der 3. bis zur 23. Sondirung beträgt die mittlere Neigung nur 0^0 15′ und auf dem Raume zwischen der 23. und 25. Sondirung gar nur 0^0 1′ 30″. Der Meeresboden zwischen Europa und Amerika, nördlich und südlich von lat. 50^0 30′ erscheint bei einer Ausdehnung von $334^4/_5$ geogr. Meilen als eine Ebene mit so flachen Wellenerhebungen, dass diese letzteren im Verhältniss zu ihrer horizontalen Ausdehnung verschwinden. Auf den oben angegebenen Strecken der Telegraphenlinie beträgt die Senkung des Bodens auf die Meile theils 30 Meter, theils 3 Meter, während das Gefäll des Rhein's auf die Meile zwischen Schaffhausen und Eglisau 40 Meter, von Eglisau bis Basel 7 Meter, von Basel bis Strassburg 6 Meter beträgt. Die vorkommenden Neigungswinkel des atlantischen

[1]) J. G. Kohl, Geschichte des Golfstroms. S. 215.

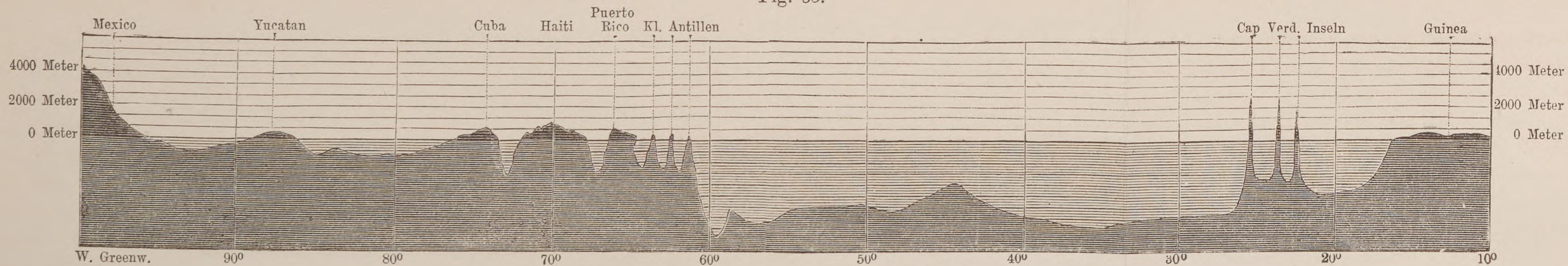
Meeresbodens längs der Telegraphenlinie lassen sich also günstig vergleichen mit der Senkung des Rheinspiegels auf der Strecke zwischen Schaffhausen und Strassburg.

Auch innerhalb des Grossen und Indischen Oceans zeigen sich überall jene sanften Undulationen des Meeresbodens. Die stärkste Neigung der oceanischen Grundfläche in dem ersteren dürfte sich wohl an der Ostseite der Kurilen finden, wo dieselbe (südostwärts der Insel Urup) innerhalb einer Wegelänge von 30 geogr. Meilen vom Meeresniveau zu 4655 Faden (8 513 Meter) Tiefe, d. h. zur grössten bisher gemessenen oceanischen Tiefe herabsinkt. Hier fällt der Meeresboden auf 1 Meile um 283,8 Meter, also auf 26,1 Meter um 1 Meter; immerhin ist diese Neigung nur eine solche, welche selbst auf Chausséen häufig vorkommt. — Speciell für den Indischen Ocean berichtet der mit der Legung des indischen Kabels betraute Capt. Calpin: Hunderte von Meilen (engl.) weit zeige sich keine Veränderung im Dynamometer der Kabelversenkung, und das Kabel habe deshalb bei voller Geschwindigkeit des Great Eastern gelegt werden können [1]).

Geht man geschichtlich auf den Ursprung jener Irrlehre zurück, welche auf der Sohle der Oceane Gebirge und Thäler entstehen liess so gut wie auf dem mit der Luft in Berührung stehenden festen Lande, so ergiebt sich, dass zuerst um die Mitte des 17. Jahrhunderts der gelehrte Jesuit Athanasius Kircher es war, welcher sich die sichtbaren Gebirge, das „Knochengerüst der Erde“, wie er zuerst sie bezeichnet hat, unter dem Wasser theils in der Richtung der Mittagskreise, theils in der Richtung der Breitengrade fortgesetzt dachte. Hundert Jahre später wiederholte der geistreiche François Buache, dem die Erdkunde sonst viele günstige Anregungen verdankt, die nämliche Vorstellung, und er zeigte in phantastischen Erdgemälden, wie sich die Höhenzüge der nächsten Festlande nach den vorliegenden Inseln verlängerten, gleichsam als ob sie die Spitzen einer versunkenen Gebirgskette seien. So führte er den Atlas hinüber nach den Canarien und die amerikanischen Cordilleren über die hawaiische Inselgruppe! Seit dieser Zeit wurden die „Seegebirge“ ein unentbehrlicher Hausrath der Erdbeschreiber, und wenn wir diesem Ausdruck auch bei A. v. Humboldt nicht begegnet sind, so war er doch einem Gatterer, einem Torbern Bergmann, dem Philosophen Kant, dem strebsamen A. Zeune und, mit Bedauern sprechen wir es aus, in den frühesten Schriften selbst einem Carl Ritter noch geläufig. Dieser systematische Wahn entsprang zu einer Zeit, wo man von Meeres-

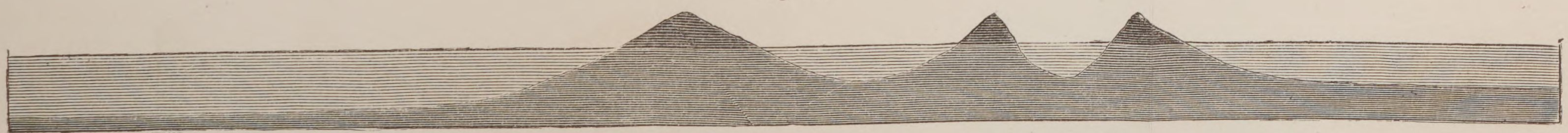
[1]) Ausland 1871, S. 240. Der folgende Abschnitt ist im wesentlichen aus den „Neuen Problemen“ (3. Aufl.), S. 40 f.

Fig. 53.



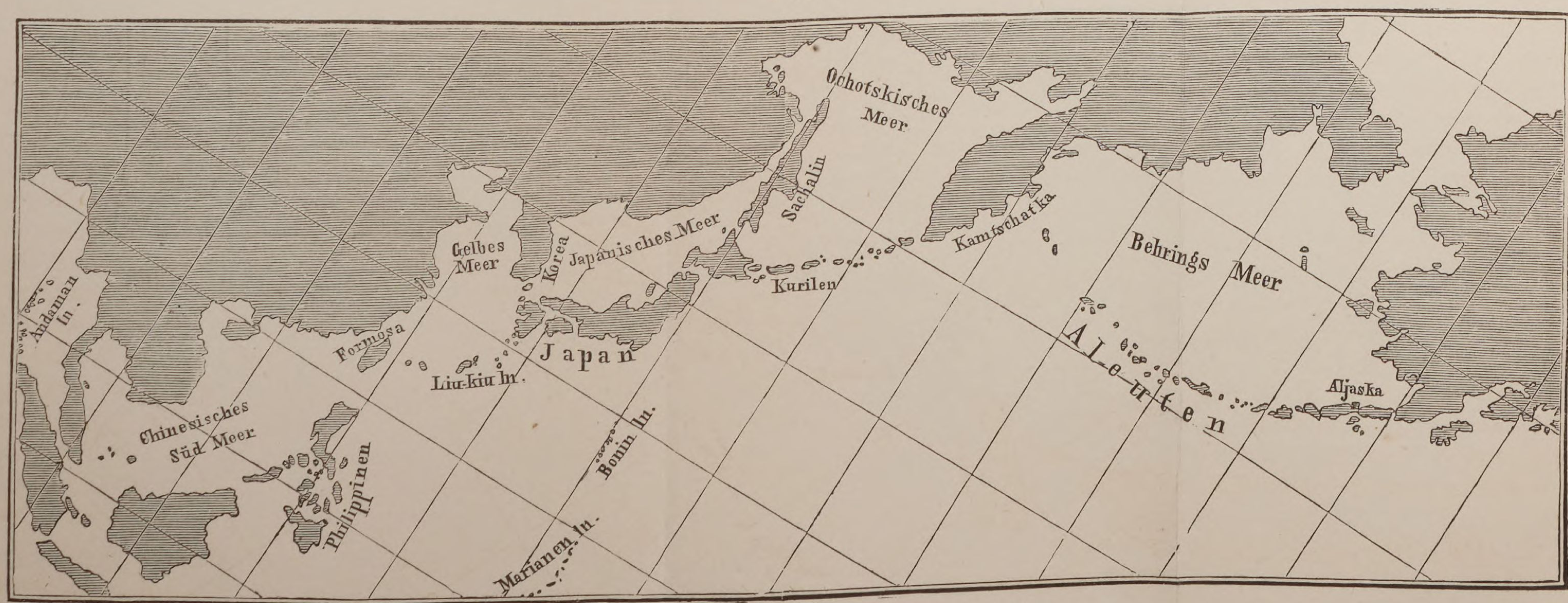
Höhen- und Tiefenquerschnitt des atlantischen Thales zwischen lat. 15° und lat. 20° N. (z. S. 431).

Fig. 54.



Der obige Querschnitt zwischen long. 20° und long. 30° w. Greenw. bei Verhältnissen der Höhen zu den wagerechten Entfernungen wie 10:1 (zu S. 431).

Fig. 74.

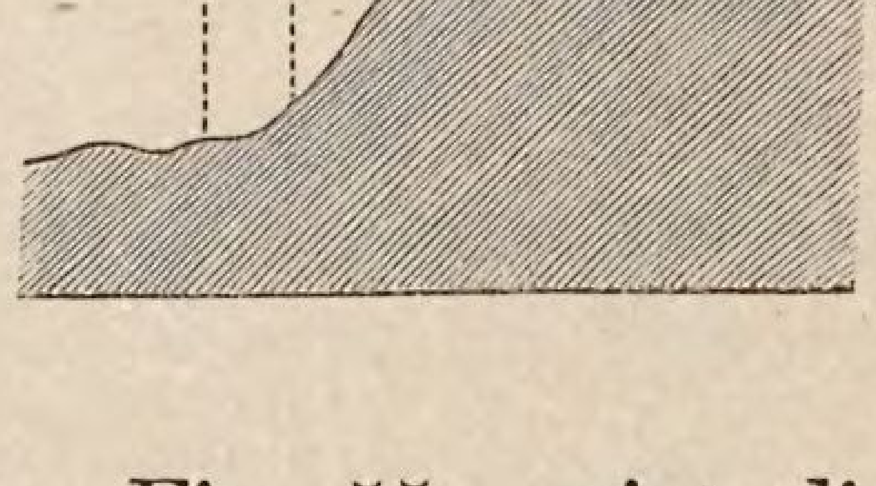


Die Inselguirlanden am Westrande des Stillen Meeres (zu S. 491).

tiefen nichts kannte als diejenigen, welche seichte Ufer umsäumen. Jedenfalls müssen dem Meeresgrunde alle die Unebenheiten fehlen, deren Urheber die verheerenden Kräfte unseres Luftkreises sind, also alles das, was wir unter Erosionen verstehen. Alle geschichteten Gesteine, die in der Tiefe des Meeres abgesetzt wurden, zeigen uns eine horizontale Lagerung; folglich dient eine Versenkung festen Landes unter das Meer früher oder später zu einer Ausfüllung aller Falten und Furchen, die es sich vor seinem Hinabtauchen zugezogen hatte. Statt der Gebirge wird auf der Sohle der Oceane eine Terrassenbildung vorherrschen, obgleich wir uns die Abstürze so steiler unterseeischer Terrassen, wie sie sich hart vor der Küste Irland's und Schottland's in das Atlantische, an der Ostküste der Kurilen in das Pacifische Meer senken, doch immer wieder so sanft denken müssen, dass ohne Krümmung des Weges ein Fussgänger an ihren Böschungen ohne sonderliche Anstrengung der Lungen aufwärts schreiten könnte.

Nicht wenig haben zur Befestigung jenes Irrthums auch die idealen Tiefenquerschnitte beigetragen, die man zur Versinnlichung der unterseeischen Unebenheiten vorzulegen pflegt und bei denen die Höhenunterschiede nach einem viel grösseren Massstab als die wagerechten Entfernungen eingetragen werden. Dadurch gewinnt man zunächst nur eine plastische Caricatur, die sich aber der Einbildungskraft tief einprägt und schwer wieder zu vertilgen ist. Ein lehrreiches Beispiel dieser Art gewährt uns ein merkwürdiges Profil, durch die grösste Breite des atlantischen Thales von Guinea bis nach Mexico gezogen, auf welcher Linie die Amerikaner eine Reihe von Messungen ausgeführt haben (s. Fig. 53 u. 54). Streckt man den Raum zwischen long. 20° bis 30° W. Gr., welcher die stärkste Bewegung der Höhen bietet, nach seinen wahren Verhältnissen aus, so besänftigen sich die capverdischen Inselvulcane, die im Zerrbilde wie die Zähne eines Kammes erscheinen, zu Kegelbergen, welche von vulcanischen Kräften auf einem sanft geneigten unterseeischen Abhang aufgeschüttet worden sind. Die steilste Böschung des atlantischen Bodens auf der Kabellinie zwischen Irland und Neufundland findet sich unter 52° 15′. n. Br. an der Westküste von Irland. Und doch ist auch hier die Neigung eine ausserordentlich sanfte. Von einem jähen Absturz, wie ihn die älteren, in verschiedenen Längen- und Höhenmassstäben entworfenen Querprofile darstellen, kann nicht die Rede sein. Fig. 55. zeigt die Böschungen im carikirten Verhältniss (eine horizontale Entfernung von 30 Seemeilen hat hier nur wenig mehr Raum als eine Tiefe von 1750

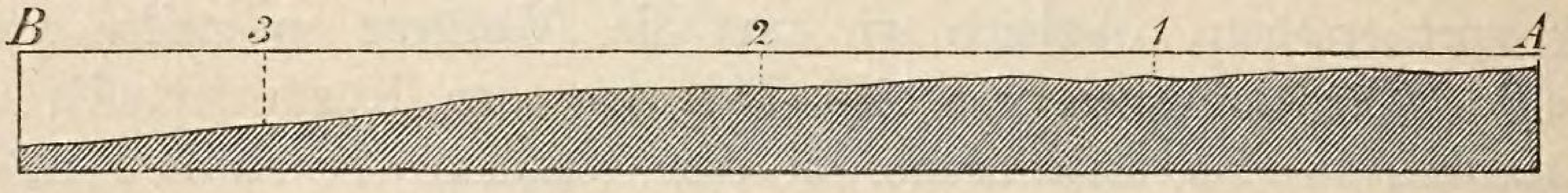
Fig. 55.



Faden); doch ist die Neigung in Wirklichkeit nur die durch Fig. 56 zur Anschauung gebrachte.

Könnte unsere Nordsee plötzlich trocken gelegt werden, so würde ihre Sohle einer Steppe mit sanften Hügelwellen von der Grösse mässiger Dünen gleichen; statt der Thäler würden wir dagegen an etlichen wenigen Stellen trichterförmige Einsenkungen gewahren, nämlich an solchen Stellen, wo die Zuschüttung alter Hohlräume von den

Fig. 56.



Rändern noch nicht völlig bis zur Mitte vorgeschritten war. Was wir bisher von den Tiefen der Oceane in grösserem Abstand vom Lande kennen, so unvollkommen auch noch die bisherigen Messwerkzeuge und so gewagt die Darstellung der angehäuften Tiefenmessungen in Querschnitten sein mögen, lässt uns durchaus nichts von „Seegebirgen" und „Seethälern" wahrnehmen, sondern nur allmähliche Bodenanschwellungen, wie wir sie in dem europäischen Russland vor uns haben, wenn wir die Furchen uns ausgefüllt denken, die durch fliessende Wasser dort entstanden sind.

XII. Die Modellirung der Küsten. Dünenbildung.

Zwischen Festland und Meer findet fast nirgends eine friedliche Berührung statt. Letzteres arbeitet, theils durch Meeresströmungen, theils durch Ebbe und Fluth, theils durch Stürme bewegt, unablässig an der Zerstörung des ihm die Stirne bietenden Landes, um dieses nach längerer oder kürzerer Zeit zu zernagen und zu verschlingen; seltener geht seine Thätigkeit dahin, an der Küste einen flachen Uferstreifen aufzubauen. Besteht ein solcher Kampf zwischen Festland und Meer, so gewinnt derselbe für uns ein dramatisches Interesse und verdient es wohl, in den Kreis unserer Betrachtungen gezogen zu werden.

Früher wurde jene Thätigkeit des Meeres wenig beachtet. Deshalb glaubte Dampier zu der Behauptung berechtigt zu sein [1]), dass die Wandungen der Oceane und der Seeboden in seinem Verlauf nichts anderes seien als die Fortsetzung des Landprofils. Das Meer sollte demnach überall da eine grosse Tiefe besitzen, wo die Ufer jäh ansteigen; in der Nähe von Flachküsten hingegen sollte es stets seicht sein. Diese Behauptung wird durch die Tiefen der Nord- und Ostsee bestätigt. Die Nordsee ist seicht (nur 10 bis 40 Faden tief) an den flachen englischen und deutschen Küsten, tief hingegen (nämlich 100 bis mehr als 400 Faden tief) vor dem steil abstürzenden Süd- und Westrande Norwegen's [2]). Auch den flachen Ufern der Ostsee entspricht im allgemeinen ein seichtes Meer an den Küsten. Und dennoch können wir dieser der reichen Erfahrung eines Seemannlebens entsprungenen Regel keine höhere Bedeutung beimessen als der einer practischen Schifferregel, bei der es sich um den genügenden Tiefgang für die Schiffe in unmittelbarster Nähe der Küste, aber keinesfalls um

[1]) W. Dampier, Neue Reise um die Welt. Leipzig 1702. S. 768.

[2]) Vgl. hierzu die treffliche Tiefenkarte in Stieler's Handatlas Nr 45.

Meerestiefen in einiger Entfernung von derselben handelt. Sobald man nämlich der Dampier'schen Ansicht einen weiteren Spielraum gewährt, wird man sofort ihre Unhaltbarkeit erkennen. So ist die Küste von Nordwestafrika (am Westrande der Sahara) durchaus flach; zahlreiche Sandbänke sind sogar vielfach bis in das Meer vorgeschoben, und doch hat der benachbarte Ocean dort an mehreren Stellen (z. B. bei Cap Bojador und Portendik) schon wenige Meilen von der Küste mehr als 1000 Faden Tiefe. Aehnliche Verhältnisse finden sich an der flachen Ostküste der Vereinigten Staaten, wo kaum 20 Meilen südöstlich vom Cap Hatteras Meerestiefen von mehr als 2000 Faden vorkommen. Hingegen führen die Steilküsten Island's (insbesondere im Nordwesten) ebenso wenig wie die Dalmatien's zu grossen Meerestiefen hinab.

Es soll nun in dem Folgenden gezeigt werden, dass die Modellirung der wagerechten Umrisse der Festlande in erster Linie von der Thätigkeit — und zwar mehr von der zerstörenden als von der aufbauenden Thätigkeit — des Meeres abhängig ist. Bei Betrachtung jenes Wellenspiels, welches rastlos an der Zerrüttung der Küste arbeitet, will es uns scheinen, als ob das Meer unablässig bestrebt ist, ebensoviel Terrain wieder zurück zu erobern, als ihm durch die seculären Schwankungen der Küstengebiete entrissen wird.

Ein völlig ruhiges Meer würde keine Küste benagen. Je erregter es ist, um so mächtiger greift es die Küste an. Dies gilt zunächst von derjenigen regelmässig sich steigernden und wieder ermattenden Thätigkeit des Wellenschlages, welche wir als Ebbe und Fluth oder als Gezeiten bezeichnen. Am verheerendsten wirken sie nicht etwa in der Mitte der Oceane an den Gestaden weit entlegener oceanischer Inseln, sondern an den Ufern der Meere, wo die Wasserbewegung in Folge der Seichtheit der See bedeutend gehemmt wird und die Fluthwellen somit eine viel ansehnlichere Höhe erreichen. Insbesondere ist der zerstörende Charakter derselben überall da sofort erkennbar, wo zwei von verschiedenen Richtungen kommende Fluthwellen sich zu einer einzigen vereinigen. Die Fluthwelle, welche von Süd her in die Irische See eindringt, begegnet in der Breite von Bristol, wo die Severn mündet, einer anderen 12 Stunden älteren, welche, nachdem sie Irland umkreist hat, von Nord her dasselbe Meer durchläuft. Diese zwei Wellen schreiten nun, eine einzige grosse Welle bildend, in der Richtung der Resultante weiter und ergiessen sich in den Golf der Severn. Offenbar verdankt der trichterförmige Bristol-Canal in erster Linie diesem gewaltigen Wogendrang seine Entstehung. Ebenso trifft die Fluthwelle, welche in den Canal la Manche eintritt, in der Gegend von Jersey eine 24 Stunden ältere Woge, welche den Weg um ganz England vollendet hat, und diese beiden, sich gegen-

seitig steigernden Wogen prallen nun mit ihrer enormen Wassermasse an die Felsen der Bretagne, wo zahlreiche, tief einschneidende Busen und von dem Festlande losgesprengte Felstrümmer Zeugniss von ihrer verheerenden Macht ablegen [1]). Erhöht wird in solchem Falle die zerstörende Kraft der Wellen noch insofern, als das dem Lande abgerungene Terrain von einem wenig tiefen Meere bedeckt wird, in seichtem Wasser aber die Fluthwelle sich staut und somit wächst.

Die Gezeiten zertrümmern übrigens nicht bloss die Küsten, sondern besitzen auch häufig noch genügende Gewalt, das hinweg gespülte Material weit fortzutragen. So hat man gefunden, dass der Boden der Irischen See und der benachbarten Meerestheile mit Geschieben bedeckt ist, welche theils der Küste direct durch die Thätigkeit der Fluth entrissen, theils durch englische, schottische und irische Flüsse bis nach der See gebracht und trotz des oscillatorischen Charakters der Fluthströmung von dieser nach und nach in die tieferen Meerestheile und weiterhin in den offenen Ocean geschwemmt worden sind. Zum Belege dafür, welche Macht die Gezeiten selbst noch auf dem Grunde des Meeres entfalten, wenn dieses seicht ist, führen wir an, dass sowohl im Canal la Manche wie in der Irischen See durch die Fluthbewegung Löcher oder Rinnen geschaffen worden sind, deren grösste Axe hinsichtlich ihrer Richtung mit dem Gang der Fluthwelle im allgemeinen übereinstimmt. Die auffallendste dieser Aushöhlungen ist die Nordcanalrinne zwischen Belfast (Irland) und Port Patrick (Schottland); sie ist über 4 geogr. Meilen lang, $^1/_5$ geogr. Meile breit und 60 bis 100 Faden tiefer als der benachbarte Meeresboden. Die hier bestehende starke Strömung hat sie entweder ganz oder doch wenigstens theilweise gebildet und hält sie jetzt offen [2]).

Nicht immer haben die Gezeiten einen destructiven Charakter; sie können vielmehr in gewissen Fällen sogar eine aufbauende Thätigkeit verrichten. Treffen sich nämlich, von verschiedenen Richtungen kommend, an einer Stelle Ebbe und Fluth, so erfolgt eine gegenseitige Ausgleichung, eine Neutralisation; man bemerkt weder ein Auf-, noch ein Absteigen des Wassers, obgleich Ebbe und Fluth abwechselnd die Küste erreichen. Derartige Stellen giebt es sowohl in der Irischen See wie in der Nordsee (z. B. zwischen den Küsten Holland's und England's), und hier ist es eben, wo sich zahlreiche und ausgedehnte Sandbänke ablagern [3]).

[1]) Élisée Reclus, La Terre. Paris 1869. Tome II, p. 140.

[2]) Nach einem Vortrag, gehalten von Mellard Reade in der Geological Society zu Liverpool am 12. Februar 1874. Vgl. Nature, Vol. IX, Nr. 225. 19. February 1874, p. 316.

[3]) É. Reclus, l. c. Tome II, p. 143.

Wesentlich anders als der Charakter der Fluthwelle ist der der Windwelle. Während bei der ersteren die ganze Wassermasse bis zur grössten Tiefe hinab an der oscillatorischen Bewegung Antheil hat, ist die von veränderlichen Luftströmungen (Wind, Sturm, Orkan) hervorgerufene Windwelle in ihren Wirkungen vorzugsweise auf die oberflächlichen Schichten beschränkt. Die Tiefe des Wassers, bis zu welcher hinab die Wirkungen der Windwelle sich erstrecken, ist im Verhältniss zu den Dimensionen der Welle, d. h. zu ihrer Breite und Höhe niemals gross; denn die Bewegung des Wassers vermindert sich nicht gleichmässig mit der Tiefe, sondern nimmt in geometrischer Progression ab, während die Tiefe unter der Oberfläche in arithmetischer Progression wächst. In einer Tiefe, welche der Breite der Welle entspricht, besitzt die Bewegung nur noch $^1/_{534}$ der Kraft, welche sie an der Oberfläche entfaltet. Ist demnach eine Welle $^1/_4$ engl. Meile (402 Meter) breit und 40 engl. Fuss (12,2 Meter) hoch, so würde unter der Welle in einer Tiefe von 1 320 engl. Fuss (402 Meter) die Bewegung des Wassers weniger als einen engl. Zoll (2,3 Centimeter) betragen und somit nicht mehr im Stande sein, das kleinste Körnchen aus seiner Ruhelage zu stören [1]).

Windwellen sind klein bei ihrer Entstehung. Anfangs bemerkt man nur ein leichtes Aufkräuseln des Wassers. Wenn der Wind vom Lande her weht und anhaltend in derselben Richtung auf sie einstürmt, so werden die Wellen rasch grösser; offenes Meer und fortgesetzter Druck „vom Rücken" sind also ihrer Entwicklung besonders förderlich. Sie schreiten um so schneller vorwärts, je tiefer das Wasser ist; doch legen sie auch bei hohem Wogengang wohl kaum einen Weg von mehr als 6 bis 10 Metern in der Secunde zurück. In unseren Meeren erreichen die Wellen selten eine Höhe von 3 Metern. Nach Admiral Smyth steigen sie im Mittelmeere bei sehr starken Stürmen bisweilen zu 4 bis 5 $^1/_2$ Meter und nur in ganz aussergewöhnlichen Fällen zu 9 Meter Höhe empor. Scoresby fand im Atlantischen Meere bei heftigem Sturm eine durchschnittliche Wellenhöhe von ungefähr 9 Metern, vereinzelt sogar von 13 Metern. Bei Cap Horn hat man Wellen von 12 Meter Höhe beobachtet. Die grössten bis jetzt bekannten bilden sich in der Nähe des Caplandes unter dem Einfluss eines Nordwestwindes, des Sturmwindes jener Gebiete, welcher die Wogen um das Cap treibt, nachdem sie schräg das weite Gebiet des südatlantischen Oceans durchschnitten haben. Hier schlagen zuweilen die Wellen, vom tiefsten Punkt des Wellenthales bis zum Kamm ge-

[1]) Sir John F. W. Herschel, Physical Geography of the Globe. 5th edition. Edinburgh 1875. § 81, p. 72.

messen, 15, 16, ja 18 Meter hoch empor. Dort allein also darf man von „haushohen“ Wellen sprechen, die bei Beschreibung von Seestürmen leider immer unvermeidlich wiederkehren; dort allein kann es sich ereignen, dass die Passagiere zweier neben einander segelnder Schiffe, wenn diese gleichzeitig in die Wogenthäler hinunterschweben, vom Verdeck aus nichts mehr von dem sie begleitenden Fahrzeuge erblicken. Der Weltumsegler Dumont d'Urville erwähnt sogar 33 Meter hohe, also thurmhohe Wogen; indessen erklären die besten Gewährsmänner, dass sich dies mit den neuerdings gemachten Wahrnehmungen nicht in Einklang bringen lasse.

Kommt eine Welle in seichtere Meerestheile, so erleidet das Wasser eine Reibung an dem Grunde, und die unteren Wassertheile werden in ihrer Bewegung gehemmt, während die oberen fast ungeschwächt in derselben beharren. In Folge dessen brechen die Wellen: ihr Kamm stürzt über, und das Wasser tobt mit verheerender Gewalt gegen das Ufer. Diesen Vorgang bezeichnet man mit dem Worte Brandung. Dieselbe wirkt um so zerstörender, als die gegen das Ufer geschleuderten Wasser unter der anstürmenden nächsten Welle sich zurückziehen und den Strand im Rücklauf aufreissen. Ueberdies ist die Höhe der an den Ufern sich brechenden Wellen oft bedeutend grösser als die der höchsten Wogen auf offener See. Spritzen doch diejenigen, welche sich an der Basis des Leuchtthurms Eddystone (südlich von Plymouth) brechen, bisweilen über seine 46 Meter hohe Spitze empor und steigen dann gleich einem Katarakt wieder von derselben herab! Versuche, welche an der Westküste Schottland's angestellt wurden, haben ergeben, dass die Wogen in den Sommermonaten durchschnittlich einen Druck von 2 748, in den Wintermonaten von 9 387 Kilogrammen auf einen Quadratmeter der Uferwandungen ausüben; wie gewaltig mag dann derselbe zur Zeit der Brandung sein! Wir finden es daher begreiflich, dass die vom Sturmwind gepeitschte See im Stande ist, ungeheure Gesteinsmassen mit fortzuwälzen. So berichtet uns Stevenson, dass auf Bell Rock, einer blinden Klippe (mit Leuchtthurm versehen) südöstlich von Arbroath (Schottland), wiederholt bei heftigem Sturm grosse submarine Geschiebe aus der Tiefe auf den Fels geschleudert wurden, Geschiebe, deren Rauminhalt nahezu einen Cubikmeter und deren Gewicht mehr als 40 Centner betrug. Diese grossen Rollsteine sind den Leuchtthurmwärtern auf jener Station so gewöhnlich geworden, dass sie von denselben „Reisende“ genannt werden [1]). Bei dem schrecklichen Orkan

[1]) Heinrich Berghaus, Allgemeine Länder- und Völkerkunde. Stuttgart 1837. Bd. II, S. 586.

auf Barbadoes im Jahre 1780 wurden Kanonenrohre, die lange Zeit schon im Meere versunken gelegen waren, von den Wogen hoch auf's Ufer hinauf gespült. Ohne Zweifel ist eine starke Brandung im Stande, selbst Blöcke von 100 Centner Gewicht weiter zu rollen.

Das Mass der Zerstörung, welche das Meer herbeiführt, hängt von verschiedenen Factoren ab. In erster Linie kommt hierbei die Höhe, sowie die Richtung und Geschwindigkeit der gegen die Küste treibenden Wellen, ferner die Beschaffenheit des Ufergesteins und die Schichtenstellung desselben in Betracht. Granit, Gneiss, Syenit, Basalt schützen die Küsten besser gegen den Wogenanprall als Sandstein, Mergel und Kalkstein. Nach längeren Zeiträumen wird freilich auch das härteste Material unterwaschen, wobei dann die vom Wasser nicht berührten oberen Theile ihre Stütze verlieren und ebenfalls eine Beute des Meeres werden. Diesen Vorgang in der Natur ahmen australische Goldwäscher längst schon nach. Man lenkt einen starken Wasserstrahl gegen die Felsen, — natürlich geschieht dies nur dann, wenn dieselben aus weicherem Gestein bestehen, — und in der That werden sie durch den Wasserdruck bald unterhöhlt und stürzen schliesslich, ihrer Basis beraubt, zusammen. Auch die Lagerungsverhältnisse der Schichten am Ufer sind nicht ohne Bedeutung für die Wehrhaftigkeit der Küste. Fallen die Schichten gegen das Meer ein, so bieten sie den Meereswogen um so besser Trotz, je geringer der Neigungswinkel der Schichten gegen die Meeresfläche ist. Wo hingegen die Schichten landeinwärts einfallen und am Uferrande die Schichtenköpfe bloss liegen, da arbeitet das Meer unter sonst gleichen Verhältnissen mit dem grössten Erfolge an der Zerrüttung der Küste. Auch wächst die Widerstandsfähigkeit der Ufer mit der Einfachheit ihrer Contouren, d. h. die Ufer sind der Zerstörung um so mehr preisgegeben, je reicher sie an Vorgebirgen und Buchten sind, weil die Zahl der Angriffspunkte in diesem Falle eine grössere ist. Endlich sind Küsten, von denen aus der Wind meist in's hohe Meer bläst, weniger der Meereserosion zugänglich als solche, welche gleichsam der Wind- und Wetterseite der Festlande angehören und somit dem Anprall der Wogen am meisten ausgesetzt sind. Lehrreich ist in dieser Hinsicht die Geschlossenheit der Ostküsten England's und Irland's, deren Westküsten doch stark zerrissen sind. An dem letzteren Umstande hat sicher der vorherrschende Südwestwind mit dem hohen Wogengang in seinem Gefolge einen nicht allzu geringen Antheil.

Steile Felswände, vorspringende Felsecken, vom Festlande bereits losgelöste Nadeln und Zähne, Obelisken und Felsthore, welche nicht selten die phantastischsten Gestalten besitzen: sie alle verdanken ihre Entstehung der erodirenden Kraft der Meereswogen. Wo wir also jäh

abstürzenden, vielfach zerrissenen Ufern begegnen, wie an den scheeren- und klippenreichen Westküsten von Irland, Schottland und Norwegen, den hundertfach zerklüfteten Hebriden, Orkney- und Shetland-Inseln, sowie an der zersplitterten Nordwestküste Frankreich's: da haben wir uns eine häufig hochgehende, rastlos mit der Zerstörung und Zertrümmerung der Küste beschäftigte See zu denken.

Zahlreiche Beispiele liessen sich anführen von Küstenzerrüttungen, denen Menschen als Zuschauer beiwohnten. Gegen Ende des Jahres 1862 während eines der fürchterlichsten Stürme des Jahrhunderts beobachtete Lennier, wie das Meer die Felsen von la Hève (an der Seine-Mündung) auf einer Breite von 15 Metern abwühlte. Seit dem Jahre 1100 n. Chr. haben die Wogen des Canal. la Manche, unterstützt durch die Meteorkräfte, welche an dem Verfall der oberen Schichten mächtig arbeiteten, diese Falaise um mehr als 1400 Meter tief ausgenagt; der Zerstörungsprocess schritt also durchschnittlich im Jahre 2 Meter weiter. An der Stelle, wo sich ehemals das vor der Woge sich zurückziehende Dorf Sainte-Adresse befand, breitet sich jetzt die Bank l'Éclat aus [1]). Cap Gris-Nez, derjenige Küstenpunkt am Canal, in welchem sich Frankreich am meisten England nähert, weicht durchschnittlich 25 Meter im Jahrhundert zurück, woraus sich mit einiger Wahrscheinlichkeit der Schluss ableiten lässt, dass vor 60 000 Jahren — vorausgesetzt, dass sich in früheren Zeitaltern die Erosion ebenso kräftig erwies, — noch ein Isthmus Frankreich und England mit einander verband [2]). Die klippenreichen Gebiete der Normannischen Inseln und der Scilly-Inseln verrathen uns noch den ehemaligen Ufersaum Frankreich's und England's; sie bilden granitische Palisaden von der ausserordentlichsten Dauerhaftigkeit, stark genug, dem Wogendrang noch Tausende von Jahren zu trotzen. Bei den Scilly-Inseln ist der Zertrümmerungsprocess am weitesten vorgeschritten; denn es sind ihrer nicht weniger als 140.

Ebenso fehlt es nicht an Beispielen für eine gewaltige Erosionsthätigkeit des Meeres an den englischen Küsten. So werden gewisse Klippen in Norfolk und Suffolk rasch vom Meere abgefressen. Im Jahre 1805 errichtete man bei Sherringham ein Wirthshaus 50 Yards (46 Meter) von der See und hoffte, dass es nach den bisherigen Erfahrungen 70 Jahre verschont bleibe, weil bis dahin der jährliche Verlust nicht ganz ein Yard erreicht hatte. Die See aber wollte diesen Calcül nicht anerkennen. In den Jahren 1824 bis 1829 schwemmte sie nicht weniger als 17 Yards Land hinweg und brachte ihre Wellen

[1]) É. Reclus, l. c. Tome II, p. 183.
[2]) É. Reclus, l. c. Tome II, p. 185.

bereits bis zum Fusse des Wirthshausgartens, und 1829 hätte schon eine Fregatte in 6 Meter tiefem Meere an derselben Stelle ankern können, wo 48 Jahre früher eine Klippe von 15 Meter Höhe aus dem Meere emporragte [1]). Auf den alten Karten von Yorkshire finden wir die Stellen angegeben, wo ehemals die Ortschaften Auburn, Hartburn und Hyde lagen, jetzt aber Sandbänke im Meere sich ausbreiten. Von Hyde ist nur noch die Tradition vorhanden, und nahe bei dem Dorfe Hornsea ist eine Strasse, genannt Hornsea Beck, längst hinweg gespült [2]). Auch Owthorne und seine Kirche ist zum grossen Theil zerstört worden, ebenso das Dorf Kilnsea; aber diese Orte sind weiter landeinwärts wieder aufgebaut worden. Das jährliche Mass des Vordringens bei Owthorne betrug von 1830 an in den folgenden Jahren durchschnittlich ungefähr 4 Yards (3,7 Meter). Die Lage und die Namen einiger Orte, einst Städte von Bedeutung am Humber, sind jetzt nur noch in geschichtlicher Aufzeichnung uns hinterlassen. Ravensper war früher eine Nebenbuhlerin von Hull und noch im 14. Jahrhundert ein wichtiger Hafen. Edward Baliol und der mit ihm verbündete englische Adel segelte im Jahre 1332 von hier ab, um in Schottland einzufallen, und Heinrich IV. erwählte sich im Jahre 1399 diesen Hafen als Landungsplatz, um die Thronentsetzung Richard's II. herbeizuführen. Doch er ist längst verschlungen von dem herzlosen Ocean; an derselben Stelle sieht man jetzt ausgedehnte Sandanhäufungen, die zur Ebbezeit trocken gelegt werden [3]). Aehnliche Vorgänge hat man vielfach an den Küsten England's und Schottland's, sowie an den Ufern der drei nördlichen Inselgruppen, der Hebriden, Orkney- und Shetland-Inseln, beobachtet. Namentlich sind die Ufer der letzteren schutzlos dem Anprall der atlantischen Wellen ausgesetzt; denn zwischen der Ostküste Amerika's und der Westküste dieser Inseln tritt kein Landgebiet hemmend ihrer Bewegung entgegen. In Folge dessen verursacht das Vorherrschen heftiger Westwinde zuweilen hohen Seegang, wobei die Wellen mit furchtbarer Gewalt an die Küste schlagen. Das Aufspritzen der See begünstigt die Verwitterung der Felsen; um so rascher werden sie durch die mechanische Kraft der Wellen zerstört. Steile Klippen werden unterwaschen und zeigen nun tiefe Höhlen und mächtige Felsenthore. Beinahe jedes Vorgebirge endet in einer Gruppe von Felsen, welche kühn geformte Säulen, Nadeln und Obelisken darstellen. Trotz der Härte des Gesteins, aus welchem diese

[1]) Sir Charles Lyell, Principles of Geology. 12th ed. London 1875. Vol. I, p. 516 sq.

[2]) Pennant, Arctic Zoology. Vol. I, p. 10.

[3]) Sir Charles Lyell, l. c. Vol. I, p. 515.

Inseln bestehen (meist Granit und Gneiss), vermögen sie doch nicht für immer dem Druck des Elementes Stand zu halten. Ueberall schreitet die Zerrüttung der Küste vorwärts; einzelne Felsen isoliren sich zu selbstständigen Inseln, und so löst sich die ehemals zusammen hängende Felsmasse in zahlreiche kleine felsige Eilande auf. Durch Hibbert's sorgfältige Untersuchungen sind derartige Vorgänge auf den Shetland-Inseln in reicher Menge nachgewiesen worden [1]).

Es ist unmittelbar klar, dass das Meer meist die niedrigen, aus lockerem Gestein gebildeten Küstengebiete, in gebirgigen Gegenden also die Thäler der Gebirgsfalten mit dem relativ besten Erfolge benagt und verheert. Fehlen jedoch solche günstige Angriffspunkte, wie dies namentlich dann der Fall ist, wenn eine hohe, streng geschlossene Gebirgskette die Küste begleitet, so verläuft dieselbe nahezu geradlinig, weil die Thätigkeit des Meeres hier überall einen nahezu gleich starken Widerstand findet. Die spanischen Küsten illustriren uns diesen Gegensatz recht deutlich. Die Nordküste mit dem Cantabrischen Gebirge im Hintergrunde beharrt im allgemeinen in derselben Richtung; nur kleine, schmale Busen, Rias genannt, dringen tiefer in das Land ein. Die übrigen Küsten jedoch, namentlich die Süd- und Ostküste, besitzen eine Anzahl weiter, flacher Meerbusen, welche durch halbrunde oder dreieckige, in felsigen Vorgebirgen endende Landvorsprünge von einander geschieden sind. An den Ufern des Golfes von Genua und des Tyrrhenischen Meeres begegnen wir abermals einer Reihe von flacheren oder tieferen, halbmond- oder halbkreisförmigen Buchten, welche rhythmisch wiederkehren und Festons gleichen. An der Westküste Italien's von Piombino (gegenüber Elba) an nach Süden zählen wir ihrer nicht weniger als 15. Schon auf alten Seekarten erscheinen die Westufer Italien's als eine Reihe von Bogen, welche concav in Beziehung auf das Festland, convex in Beziehung auf das Meer sind. Der Vorsprung am Ende eines Bogens deutet immer auf ein Hinderniss hin, worauf die gegen die Küste gerichtete Strömung traf und welches dieser nicht verstattete, in gleicher Weise wie an den übrigen Ufergebieten ihre erodirende Thätigkeit zur Geltung zu bringen. Die vorstehenden Spitzen sind meist Felsen (Monte Argentario, M. Circello, M. Romano, die Felsenhalbinsel Gaeta, die Felsenküste bei Cap Miseno, der Felsengrat bei Sorrento, die felsige Punta della Licosa) oder Felseninseln (Elba, die vulcanische Insel Procida); nur selten sind jene Vorsprünge durch eine Flussmündung (Ombrone, Tiber) bezeichnet, in welch letzterem Falle sie auf ganz andere, später zu besprechende Ursachen

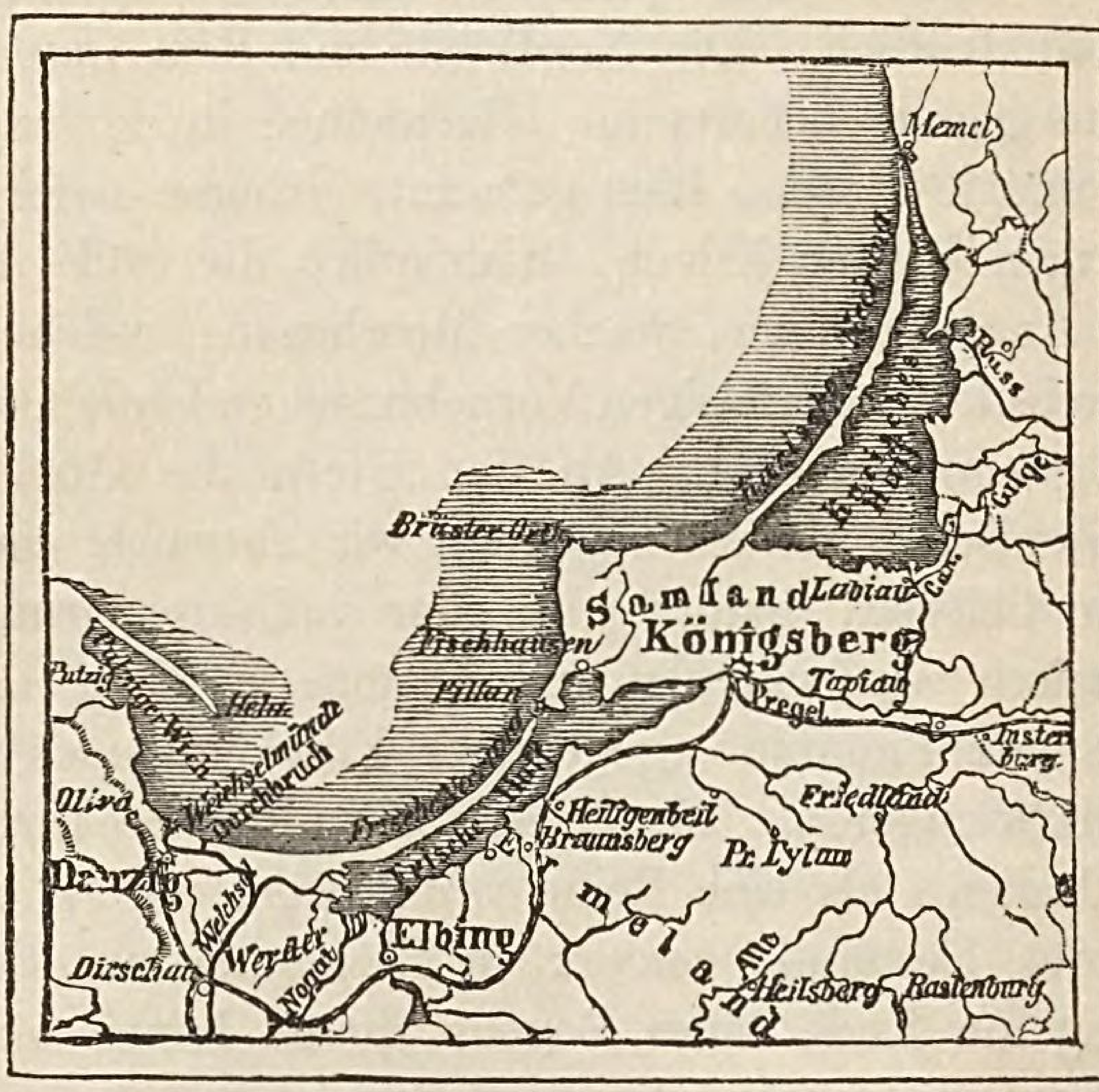
[1]) Hibbert, Description of Shetland Isles. Edinburgh 1822. Vgl. Sir Charles Lyell, l. c. Vol. I, p. 507 sq.

zurückzuführen sind. Uebrigens finden sich ähnliche guirlandenähnliche Uferumrisse auch an der Ostseite Patagonien's und anderwärts.

Ausser der zerstörenden Thätigkeit vollzieht das Meer hie und da eine aufbauende oder begünstigt wenigstens Uferbauten, wenn es dieselben nicht selbst herstellt.

Wird irgend ein Meerestheil in der Nähe der Küste durch eine vorliegende Insel oder Halbinsel gegen eine an der Küste vorüberziehende Meeresströmung, welcherlei Ursprungs sie auch sei, geschützt, so vermögen die in diesen relativ ruhigen Meerestheil mündenden Flüsse, wenn sie sonst stark genug sind, ihre schwebenden Bestandtheile weiter in das Meer hinauszutragen und zwar meist bis dahin, wo die Macht der Meeresströmung ungehemmt zur Geltung gelangt. Hier annulliren sich auf einer bestimmten Linie die beiden einander

Fig. 57.



Die frische und kurische Nehrung.

entgegen arbeitenden Kräfte der Fluss- und Meeresbewegung; hier lagern sich in Folge dessen die vom Flusse in's Meer hinaus geschwemmten Schuttmassen ab.

Auf diese Weise bilden sich meistens die so häufig flache Küsten begleitenden langgestreckten, schmalen Landzungen, welche wir gewöhnlich mit dem an der Ostsee für derartige Bildungen gebräuchlichen Namen Nehrungen bezeichnen. Wir schalten hier ein, dass uns die frische und kurische Nehrung allerdings den Typus jener Landzungen auf's deutlichste zeigen (s. Fig. 57); nur möchten wir es in diesem Falle noch unentschieden lassen, ob die obige Erklärung auf

sie angewandt werden darf. Wahrscheinlich sind das frische und kurische Haff keine Meerestheile, welche durch Nehrungen abgeschnürt worden sind, sondern Einbrüche der See durch den jetzt noch als Nehrung erhaltenen Dünenwall, nachdem hinter diesem auf der Binnenseite das Land zuvor unter den Seespiegel hinabgetaucht war[1]). (Vgl. S. 381.)

In den meisten Fällen gewinnen die Nehrungen allmählich an Breite. Während die Meereswogen feine Sandkörnchen der Aussenseite zuführen, kommen am Binnenrücken der Nehrung Süsswasserschwemmproducte zur Ablagerung. Wenn diese Uferwälle hierbei fast stets durch Flussmündungen unterbrochen bleiben, so ist hier daran zu erinnern, dass diese Oeffnungen nur oberflächlich sind, da sich jene Sandbänke meist unterseeisch fortsetzen.

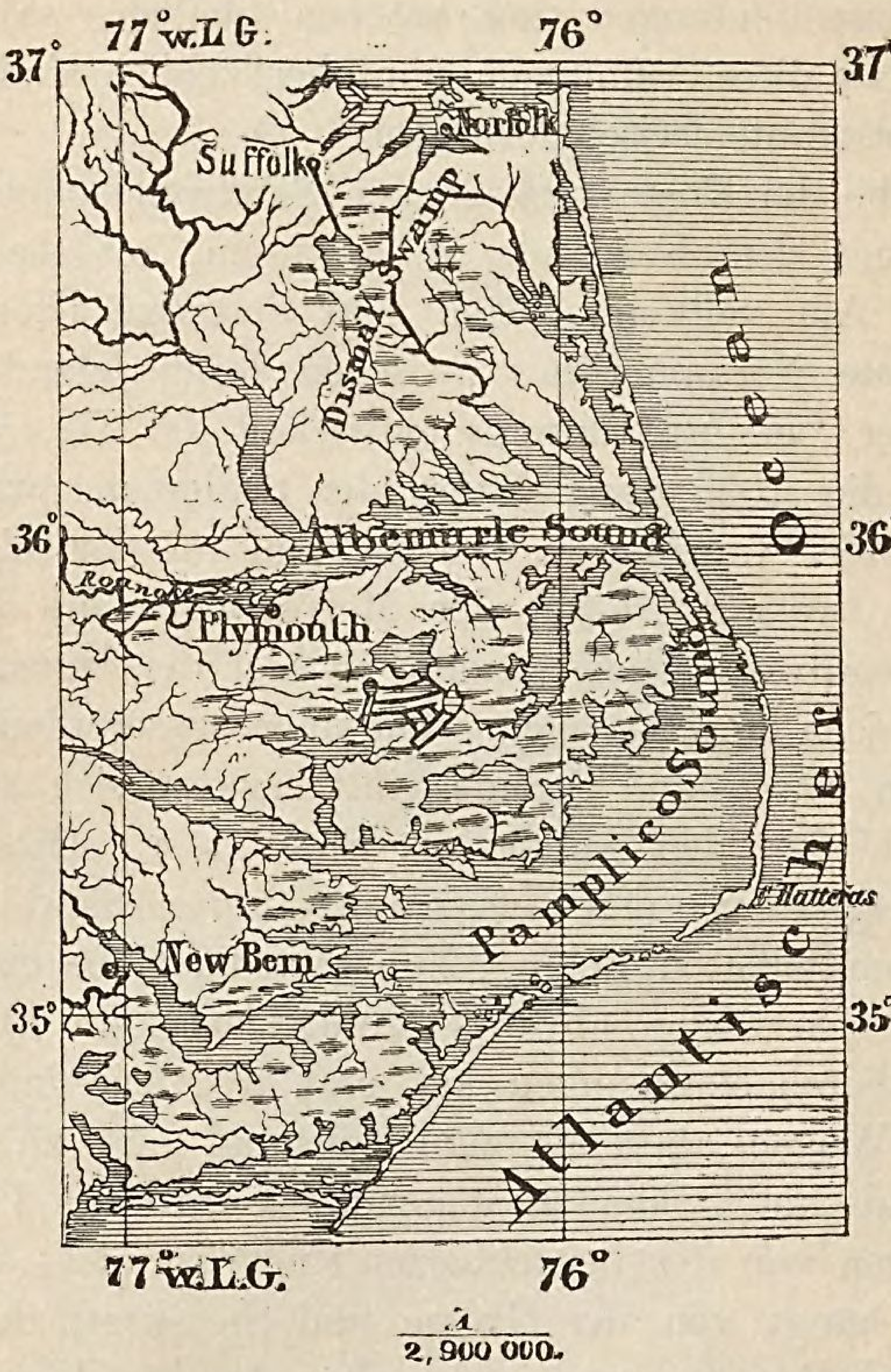
Oft sind die der Küste vorliegenden Sandwälle ohne jeglichen Zusammenhang mit dem Festlande, d. h. Inseln, oft theils Halbinseln, theils Inseln. Am vollkommensten sind derartige Uferumsäumungen an der Ostküste Nordamerika's zwischen Long Island und Florida, namentlich aber bei Cap Hatteras entwickelt (s. Fig. 58). Auch sie erscheinen als die Ablagerungsstätten der Sedimente, welche von den Flüssen in's Meer transportirt werden und an derjenigen Stelle zu Boden sinken, wo die Gewalt der Meereswogen die Bewegung des Flusswassers paralysirt. Insbesondere ist hier der bedeutende Einfluss der Gezeiten nicht zu verkennen. Die hier ausserordentlich mächtige Fluth dringt in Flüsse und Ströme ein, ergiesst sich sogar über das Land und verhindert den Abfluss der Süsswasser. Diese Stauung hat den Niederschlag der von den Flüssen mitgeführten Sand- und Schlammmassen zur unmittelbaren Folge. Nun tritt die Ebbe ein. Das Flusswasser bewegt sich wieder abwärts, wühlt hierbei die kurz vorher geschaffenen Schlammablagerungen auf und trägt sie in das Meer, wo es durch die Wogen abermals zum Stillstand und zu erneutem Absetzen der Sand- und Schlammlast genöthigt wird [2]). Die Entfernung dieser Uferbauten von der benachbarten Küste ist nicht an allen Stellen dieselbe. Sie hängt von der Grösse und Stosskraft der Flüsse, von der Stärke der Gezeiten und sonst ganz localen Verhältnissen (wie von dem Vorliegen einer Halbinsel oder Insel) ab. Auch beharren die Uferwälle nicht in ihrer Gestalt und Lage. Einmal füllen die Flüsse die neugebildeten Lagunen nach und nach mit Schlamm- und Sandmassen aus, wodurch eben die flachen Küstenstriche an der at-

[1]) Peschel im Ausland 1867, S. 753 und 1869, S. 677. Vgl. auch Berendt in den Schriften der phys.-ökon. Gesellschaft zu Königsberg. Bd. IX (1868), S. 131 ff.

[2]) H. Credner, Elemente der Geologie. 3. Aufl. Leipzig 1876. S. 231 f.

lantischen Küste entstanden sind; zum andern aber benagen die zur Ebbezeit aus den Flüssen zurückweichenden Wogen die Innenseite der Barre, während das Meer an der Aussenseite derselben neue Schlammmassen herbeiführt. So wandern diese Uferwälle nach dem Meere zu; in derselben Richtung erweitert sich die Lagune und würde gleichzeitig der Continent wachsen, wenn nicht gerade an jenen Küsten durch eine seculäre Senkung dies verhindert würde.

Fig. 58.



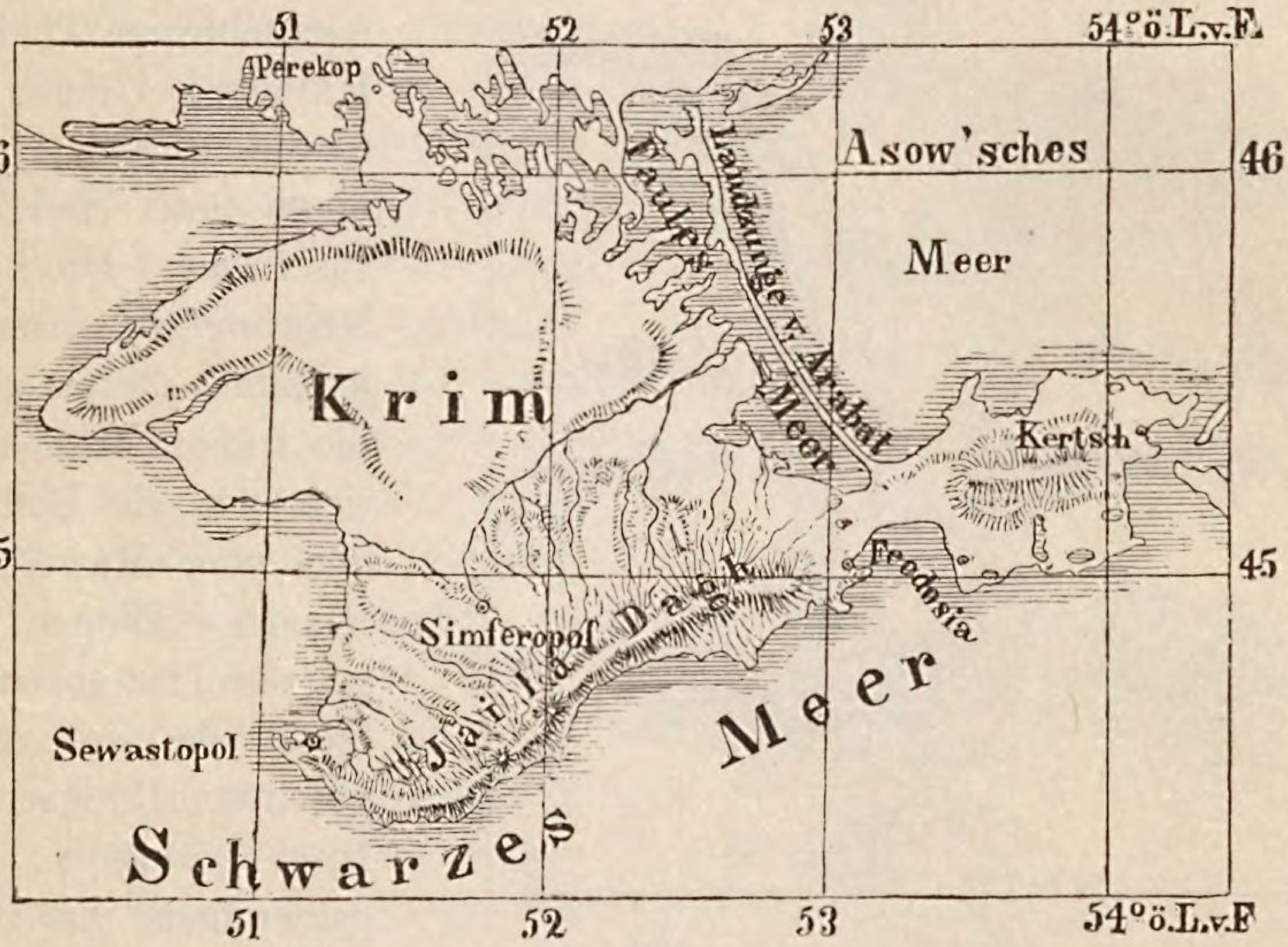
Nehrungen an der Küste von Nord-Carolina.

Eine recht charakteristische Form besitzt die Landzunge von Arabat (Krim), welche das Faule und Asow'sche Meer von einander scheidet (s. Fig. 59).

Nehrungen giebt es übrigens in viel reicherer Menge, als man gewöhnlich annimmt. Wir treffen sie, wovon man sich durch Specialkarten leicht überzeugen kann, an den Ufern aller Erdtheile und aller grösseren Meere vom Aequator nach Norden bis zu dem eisigen Island.

Beachten wir die Lage der Nehrungen, ihre Richtung und Gestalt, so erkennen wir folgende Gesetzmässigkeit: Niemals kommen diese schmalen, zungenartigen Uferwälle, gleichviel ob sie Inseln oder Halbinseln sind, an Steilküsten oder überhaupt felsigen Küsten, sondern nur an Flachküsten vor. Mindestens liegt, was wir bisher nur an der Südostküste Island's wahrgenommen haben, zwischen den Ufergebirgen und der Küste ein flacher Ufersaum [1]). Ferner treten sie nirgends rechtwinklig an den Gestaden hervor, sondern verlaufen im allgemeinen parallel der Küste. Sie erhalten ja ihre Richtung durch Küstenströmungen und Wogenanprall in ähnlicher Weise wie die

Fig. 59.



Die Halbinsel Krim mit der Landzunge von Arabat.

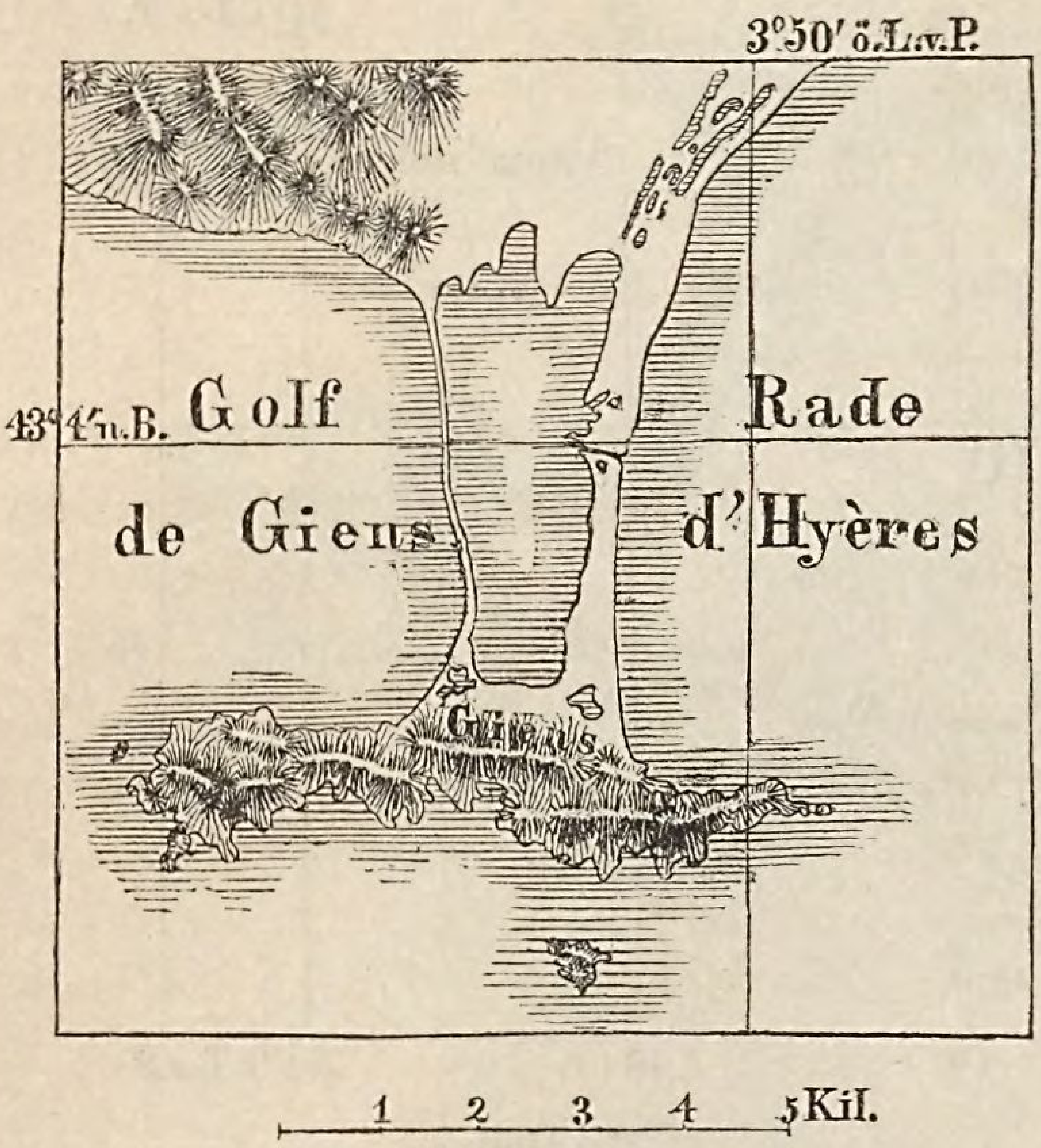
Windfahnen durch die herrschende Luftströmung. Endlich ist ihnen allen eine Monotonie ihrer Umrisse eigen; insbesondere ist ihre Aussenseite fast immer nahezu geradlinig, während der Innenrand öfter leichte Einschnitte zeigt.

Zu den selteneren Erscheinungen gehört die Verknüpfung einer Insel mit dem benachbarten Festlande durch eine oder mehrere Nehrungen. So finden wir namentlich im Gebiet des Mittelmeeres mehrere ehemalige Inseln, welche ihren insularen Charakter verloren haben

[1]) Vgl. das Kärtchen bei É. Reclus, l. c. Tome II, p. 178.

und zu Halbinseln geworden sind. Eines der bemerkenswerthesten Beispiele dieser Art ist die Halbinsel Giens (Fig. 60). Sie wird wie die anderen Hyèren von einem schmalen Höhenrücken durchzogen, der parallel mit der Küste von Südfrankreich streicht. Sie ist mit dem Continente durch zwei Nehrungen von feinem Sand verbunden, welche ungefähr 5 Kilometer lang sind und flache, mit der concaven Seite gegen das offene Meer gewandte Curven bilden. Zwischen ihnen breitet sich die weite Lagune von Pesquiers aus. Im Hinblick auf diese weite innere Wasserfläche und die niedrigen, kaum über den Meeresspiegel sich erhebenden Strandwälle lässt sich wohl mit Sicherheit die Behauptung aussprechen, dass der gebirgige Theil der Halbinsel Giens, wie es die übrigen Hyèren heute noch sind, eine Insel war. Die beiden Nehrungen entstanden jedenfalls dadurch, dass die frühere Insel Giens sich wie ein Bollwerk den vom Meere kommenden Wogen entgegenstellte; so wurden diese, ehe sie auf die geschützte Rückseite der Insel gelangten, dazu gezwungen, ihre Bewegungen zu mässigen und eben deswegen den Schlamm und Sand fallen zu lassen, welchen sie schwebend enthielten. Die ansehnlichere Breite und Höhe der östlichen Zunge ist eine Folge davon, dass eine von Ost nach West laufende Strömung an der Küste hinführt und ausserdem der im entgegengesetzten Sinne wirkende Mistral (ein Nordwestwind) häufig hier weht; der breitere Wall von Sand und Trümmern ist ein Zeugniss des häufigen Ringens dieser beiden Kräfte [1]. In ganz ähnlicher Weise wie Giens sind auch die beiden ehemaligen Inseln S. Antioco (an der Südwestseite von Sardinien, s. Fig. 61) und Monte Argentario (zwischen Elba und Civitavecchia, s. Fig. 62) durch

Fig. 60.

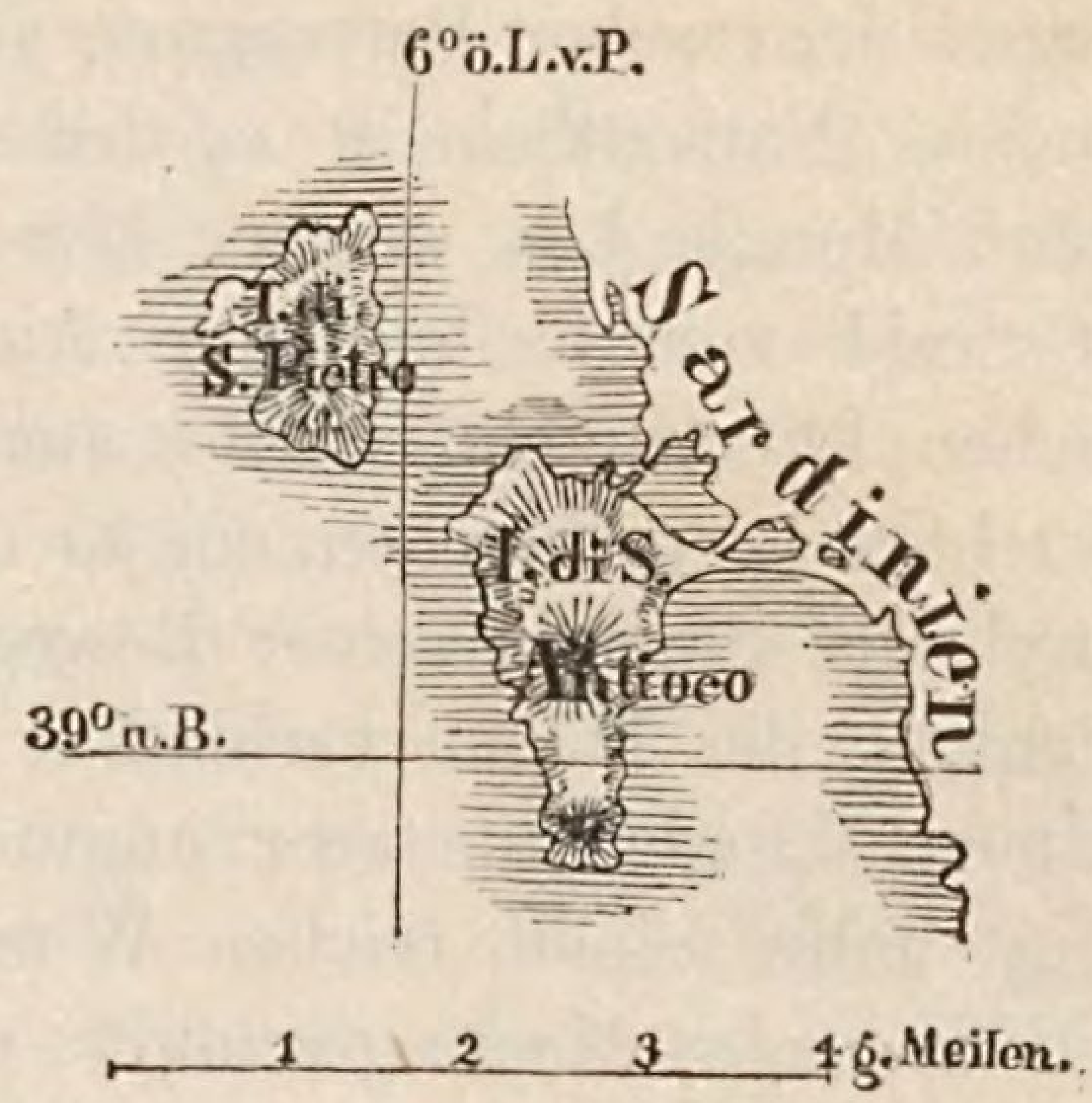


Die Halbinsel Giens (Südfrankreich).

[1]) É. Reclus, La Terre. Tome II, p. 215 sq.

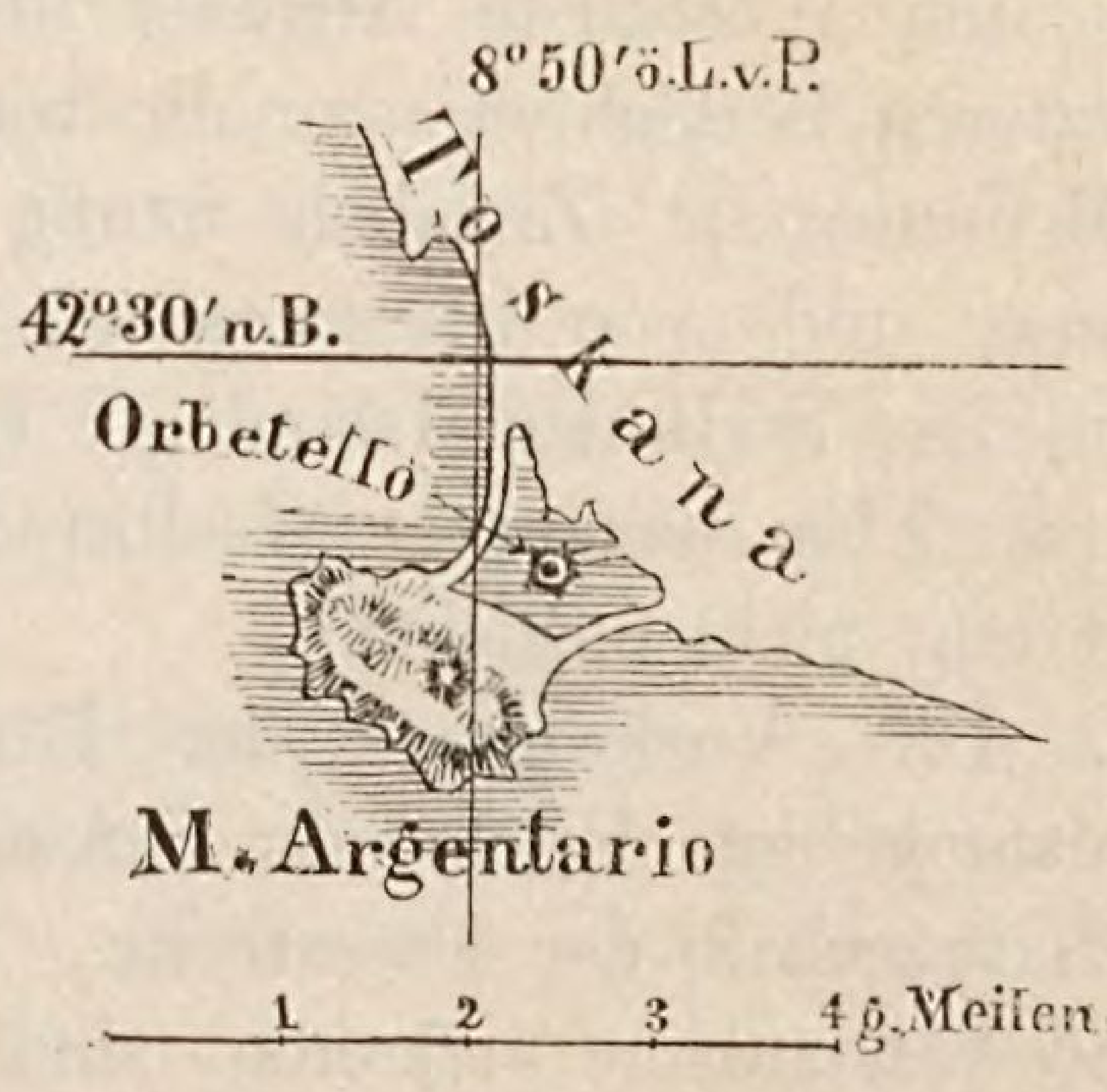
zwei Nehrungen mit dem Festlande vereinigt. Der einzige Unterschied, welcher uns beim Anblick der beiden Bilder auffällt, besteht darin, dass im ersteren Falle eine Nehrung durchbrochen ist, während im letzteren beide Nehrungen unverletzt erscheinen. Doch besitzen sie ohne Ausnahme die Gestalt sanft geschwungener Curven, deren concave Seite nach aussen gerichtet ist; auch liegt hier wie dort eine weite Lagune zwischen ihnen.

Fig. 61.



Die Halbinsel S. Antioco.

Fig. 62.



Die Halbinsel Monte Argentario.

Häufiger noch als die doppelte Verknüpfung der Inseln mit dem Festlande ist die einfache. So waren Cap Sépet bei Toulon, Quiberon in der Bretagne, die Halbinsel Portland an der Südküste von England und der Gibraltarfelsen unzweifelhaft ehemals Inseln, während jetzt nach jeder von ihnen eine schmale, niedrige Landzunge hinüberleitet. Manchmal geschieht es auch, dass zwei Inseln auf diese Weise mit einander verkettet werden. Die beiden französischen, nahe bei Neufundland gelegenen Inseln Miquelon, welche noch im Jahre 1783 isolirt waren, sind seit 1829 durch einen Wall von Sand verbunden, welchen die Wogen der beiden entgegengesetzten Golfe auf einmal aufwarfen. Ein gleicher Vorgang scheint sich auch auf Guadeloupe (Kleine Antillen) zu vollziehen; denn die beiden selbstständigen Glieder dieser Insel (ein hohes vulcanisches Gebiet im Westen und ein niedrigeres Eiland im Osten) sind zur Zeit nur noch durch einen schmalen und seichten Canal von einander getrennt [1]). Auch Tahiti war ursprünglich eine solche Doppelinsel.

In manchen Gegenden bleibt das Material der Uferwälle eine so

[1]) É. Reclus, l. c. Tome II, p. 218, nach Brué (Bulletin de la Société de Géographie. 1829).

lose Anhäufung, dass die von der See her wehenden Winde es hinwegführen und weiter landeinwärts die Aufrichtung langgestreckter Sandhügel, Dünen genannt, veranlassen. Sie sind nicht mit Sandbänken und Barren zu verwechseln. Letztere liegen immer unter dem Meeresspiegel und gehören demnach ganz dem Meere an; die Dünen hingegen erheben sich nicht nur über den Meeresspiegel, sondern befinden sich auch mit ihrer Basis auf dem Lande und werden durch einen vor ihnen sich ausbreitenden Strand vom Meere geschieden.

In den tropischen Ländern sind die Dünen verhältnissmässig selten wegen der raschen Befestigung angehäufter Sandmassen durch Pflanzenwuchs. Namentlich ist es der Mangle- oder Mangrovebaum (Rhizophora Mangle L.), welcher hier an flachen, sumpfigen Küsten einen Uferwald von meilenweiter Ausdehnung bildet und durch die zahlreichen Luftwurzeln, welche aus den noch an den Zweigen hängenden Früchten hervorbrechen, ein so dichtes Wurzelgeflecht erzeugt, dass dadurch der Sand in seiner Bewegung gehemmt und so die Weiterentwicklung der Dünen verhindert wird. Freilich knüpfen sich an den Namen Manglebaum sehr ungünstige Oertlichkeitsbegriffe. Er beherbergt unter seinem reichen Wurzelwerk eine solche Fülle von Unrath und faulender Meeresgeschöpfe, dass die Luft der Mangrovewaldungen eine durchaus verpestete ist und den menschlichen Aufenthalt zu einem krankheit- und todbringenden macht. Wo jedoch in der tropischen Zone die Vegetationsdecke fehlt, sind auch Dünen wahrzunehmen, so an der Westküste Afrika's und an der Küste von Peru. An der letzteren bezeichnet man die wandernden Sandhügel mit dem Namen „Medanos“ [1]). Ziemlich häufig sind die Dünen in der gemässigten Zone, und zwar begegnen wir ihnen noch unter höheren Breiten, so an der Südküste Island's. Doch ist es zweifelhaft, ob — wie Franklin behauptet — selbst der Nordrand von Amerika der Dünenbildung nicht entbehrt.

Das Vorkommen der Dünen ist übrigens nicht allein auf die Küstengebiete beschränkt. Auch im Innern der Continente, namentlich innerhalb der Passatzone, wo Sandwüsten weite Areale erfüllen und Sandstürme auftreten, sind Dünen keine seltenen Erscheinungen. Die der Turkmenischen Wüste (südlich von Chiwa) hat uns Vambéry ausführlich beschrieben. Zahlreich sind die Berichte über die Dünen der Sahara von Herodot an, welcher uns erzählt, dass eine von Kambyses nach der Oase des Jupiter Ammon (Siwah) gesandte Expedition durch einen Sandsturm vernichtet worden sei, bis auf die

[1]) J. J. v. Tschudi, Peru. Reiseskizzen aus den Jahren 1838 bis 1842. St. Gallen 1846. Bd. I, S. 335 ff.

neueste Zeit herab. In der That mögen in einzelnen Theilen der Sahara (so im Suf, der Sandwüste zwischen Tuggurt und Tunesien, und anderwärts) oft ganze Karawanen durch die vom Winde herbeigewehten ungeheuren Sandmassen begraben werden; doch muss ausdrücklich bemerkt werden, dass nicht die Masse des anstürmenden Sandes, sondern die fürchterliche Hitze, welche der aus einem Ofenloch entströmenden Gluth ähnlich ist, in erster Linie die gänzliche Erschöpfung und den Tod des Wüstenwanderers herbeiführt, namentlich dann, wenn kein Wasser mehr vorhanden ist. Doch werden Menschen und Thiere, wenn sie reichlich mit Wasser und Nahrung versehen sind, immer Kraft genug haben, den Staub und Sand von sich abzuschütteln [1]).

Die Dünen der Wüste gleichen plötzlich starr gewordenen Wellen und Wogen. Sie erheben sich hinter einander und zwar oft bis an die Grenzen des Horizonts und sind durch schmale Thäler von einander geschieden. Bald verdünnen sie sich zu schneidigen Kämmen; bald spitzen sie sich zu Pyramiden aus; bald runden sie sich zu cylindrischen Gewölben. An Dünen von compactem Sande hängt sogar stellenweise der Kamm oben über wie bei einer im Ueberstürzen begriffenen Welle; aber auch in diesem Falle ist die dem Winde zugekehrte Seite eine sanft geneigte, leicht gekräuselte Fläche. In der Sahara erstrecken sie sich meist von Südost nach Nordwest, was offenbar eine Wirkung des vorherrschenden Nordostpassats ist. An manchen Stellen der Wüste ist das Wandern der Dünen ein ausserordentlich langsames; sie bewahren vielmehr längere Zeit ihren Ort und ihre Form und werden daher von den Eingeborenen leicht wieder erkannt. Doch lässt sich vielfach ein langsames Vorrücken der Dünen von Ost nach West mit ziemlicher Sicherheit constatiren [2]).

Welches ist nun die Ursache der Dünenbildung? Und hat man ein Recht, Stranddünen und binnenländische Dünen einem und demselben Bildungsgesetze unterzuordnen?

Man hat neuerdings mehrfach die Meinung ausgesprochen, dass die kolossalen Sandanhäufungen der Sahara eine Folge der früheren Meeresbedeckung dieses Raumes seien [3]). Nun ist es schon sehr zwei-

[1]) Vgl. Charles Martins, Von Spitzbergen zur Sahara. Jena 1868. Bd. II, S. 287. Gerh. Rohlfs im Ausland 1872, S. 1059 f. R. Hartmann, Skizze der Nilländer. Berlin 1865. S. 155 f.

[2]) Ch. Martins, l. c. Bd. II, S. 286 f. Gerh. Rohlfs, Quer durch Afrika. Leipzig 1874. Bd. I, S. 201.

[3]) Gerhard Rohlfs (Quer durch Afrika. Bd. I, S. 200 f.) vertritt diese Anschauung, ebenso Czerny (Die Wirkungen der Winde auf die Gestaltung der Erde. Ergänzungsheft Nr. 48 zu Petermann's Mittheilungen 1876. S. 30 ff.).

felhaft, dass die Sahara in einem jüngeren geologischen Zeitabschnitt in ihrer ganzen Ausdehnung oder auch nur zum grössten Theile vom Oceane überfluthet war; es ist dies vielmehr nur für einzelne Gebiete erwiesen, seitdem Desor u. a. zahlreiche Ueberreste von Seethieren (insbesondere Cardium edule) hier gefunden haben, welche zum Theil heute noch im Mittelmeere leben[1]). Aber selbst wenn eine solche Wasserbedeckung zugegeben werden müsste, so vermöchten wir doch den hieraus gezogenen Schluss betreffs der Sandbildung nicht anzuerkennen. Dünenartige Sandanhäufungen entstehen nämlich niemals im Meere, sondern am Strande. Angenommen selbst, dass das Meer allmählich zurückgewichen sei und in Folge dessen die Dünenwälle nach und nach mit den weiter rückenden oceanischen Gestaden über das ganze Wüstengebiet geschritten wären, so müssten diese Sandmassen von dem seit Jahrtausenden wehenden Passate längst schon über den afrikanischen Continent hinweggetrieben worden sein, und so wäre sicher der Atlantische Ocean bereits ihre Grabstätte geworden. Die binnenländischen Dünen dürfen deshalb mit einer früheren Meeresbedeckung der von ihnen eingenommenen Gebiete nicht in Verbindung gebracht werden.

Aber woher erhalten dann die Dünen im Innern der Continente ihr Material?

Kaum berechtigt ist hier die Annahme von einer chemischen Zersetzung der Felsarten, da dieselbe bei dem geringen Feuchtigkeitsgehalte der Luft sich unmöglich besonders erfolgreich erweisen kann. Auch die Sprengkraft des Eises in Steinritzen können wir nicht zu Hilfe rufen, da Fröste den tropischen und subtropischen Wüstengebieten fast völlig fremd sind. So scheint nur noch eine Kraft übrig zu bleiben, mittelst welcher wir die Zertrümmerung des Gesteins im Wüstengebiete der Sahara, wie in allen dünenreichen Binnenländern erklären können: die mechanische Wirkung der Hitze. Wir haben bereits in einem früheren Abschnitte (S. 428) erwähnt, dass Livingstone und Oscar Fraas die zerstörende Kraft der Besonnung auf ihren Reisen durch Südafrika, resp. Aegypten, deutlich zu beobachten Gelegenheit hatten. Auch Schweinfurth bestätigt dies. Derselbe sah im Jahre 1876 im Wadi Sanur (Aegypten) eine grosse Menge Kieselsplitter sowie die dazu gehörigen Kerne, von welchen sich durch Temperaturverzerrung die prismatisch-stengeligen, planconvexen Stücke abgetrennt hatten. Da sie weite Strecken überlagern und noch dazu in den ödesten Theilen der Libyschen und Arabischen Wüste vorkommen, so ist die Möglichkeit einer Herstellung derselben durch Menschenhand vollständig ausgeschlossen[2]).

[1]) E. Desor, Aus Sahara und Atlas. Wiesbaden 1865. S. 46 ff.

[2]) Ausland 1876, S. 514.

Zur Erhärtung der ausgesprochenen Behauptung führen wir ein Beispiel an, welches zwar nichts mit dem Wüstengebiete zu thun hat, aber die mechanische Kraft der Bestrahlungswärme recht deutlich erkennen lässt. In der Nähe von Santiago, der Hauptstadt Chile's, befindet sich ein isolirter Hügel von 60 Meter Höhe: der Cerro de Santa Luzia. Er ist aus grünsteinartigem Porphyr und steil einfallenden oder horizontal liegenden Säulen von Basalt gebildet. Dieser Hügel zeigt nach den Untersuchungen C. Moesta's, des Directors der dortigen Sternwarte, in seinem nördlichen Theile eine tägliche Oscillation oder seitliche Bewegung in der Richtung des scheinbaren Sonnenlaufes. An dem Westabhang des Cerro treten nämlich die nackten Schichtenköpfe der horizontal liegenden Porphyrsäulen zu Tage; sie erfahren während des Tages durch die Sonnenhitze eine beträchtliche Ausdehnung, des Nachts hingegen in Folge der starken Abkühlung eine ebenso grosse Contraction, und hierdurch wird jene Bewegung hervorgerufen [1]).

Wahrscheinlich wurde der Ton, welchen die berühmte Memnonssäule hervorbrachte, durch eine ähnliche Einwirkung der Sonnenstrahlen auf das Gestein erzeugt, welche Annahme Letronne in seinem Buche „La Statue vocale de Memnon“ in scharfsinniger Weise begründet hat. Lehrreich ist die Thatsache, dass die Inschriften, welche die eine noch bei Alexandria stehende „Nadel der Kleopatra“ trägt, auf der Nordost- und namentlich auf der Südostseite stark verwischt, auf den übrigen Seiten hingegen noch wohl erhalten sind. Es lässt sich dies sehr gut daraus erklären, dass bei Sonnenaufgang die oberflächlichen Steinschichten an der Ostseite schnell erhitzt werden, sich rasch ausdehnen und sich dann von der Granitsäule loslösen. Wenn derartige Vorgänge schon an granitischem Material bei Alexandria wahrnehmbar sind, so dürfen wir in der Wüste, wo nach klarer, kühler Nacht gewöhnlich mit Sonnenaufgang das bloss liegende Gestein durch die Sonnenstrahlen gar bald intensiv erhitzt wird, an vergleichsweise viel weniger compactem Material eine sehr beträchtliche Zersetzung erwarten.

Von secundärer Bedeutung für die Dünenbildung ist noch ein zweiter Factor, der jedenfalls auch in dem zuletzt erwähnten Falle mit im Spiele ist. Führt nämlich eine Luftströmung ansehnliche Sandmassen mit sich, so übt sie mit Hilfe derselben eine starke Reibung an den Felswänden aus und wirkt wie eine scharfe Feile, indem sie feine Körnchen von dem Gestein losreisst. So werden nach Fraas' Beobachtungen [2]) die Nummulitenkalke des Mokattam-Gebirges (östlich von Cairo) vom Wüstensande glatt gescheuert. Ebenso berichtet

[1]) J. J. v. Tschudi, Reisen durch Südamerika. Leipzig 1869. Bd. V, S. 139 f.

[2]) Aus dem Orient. S. 200.

R. Hartmann[1]) von einer solchen trockenen Erosion in Aegypten, welche stattfindet, wenn heftige Winde Sandwolken gegen die Felsen treiben.

Unter welchen Bedingungen entstehen nun Dünen am Strande? Erforderlich ist hierzu vor allen Dingen, dass die Sandmassen, welche sich in grösserer oder geringerer Menge fast überall an den Ufern des Meeres ausbreiten, ihre freie Beweglichkeit bewahren. Wo also die fliessenden Gewässer reichliche Mengen von Eisenoxyd enthalten, die Sandmassen zu vereinigen, wo zahlreiche organische Bindemittel, wie zugeschwemmte Conchylien, Reste kieseliger und kalkiger Infusorien die Sandtheile zusammenkitten oder wo eine dichte Vegetationsdecke die wandernden Sandhügel am Ufer des Meeres befestigt: da können sich die Dünen nicht entfalten.

Ferner ist zur Dünenbildung beständiger oder doch wenigstens vorherrschender Seewind nothwendig, weil bei häufigem Wechsel des Windes die Sandmassen nach allen Richtungen hin regellos zerstreut werden.

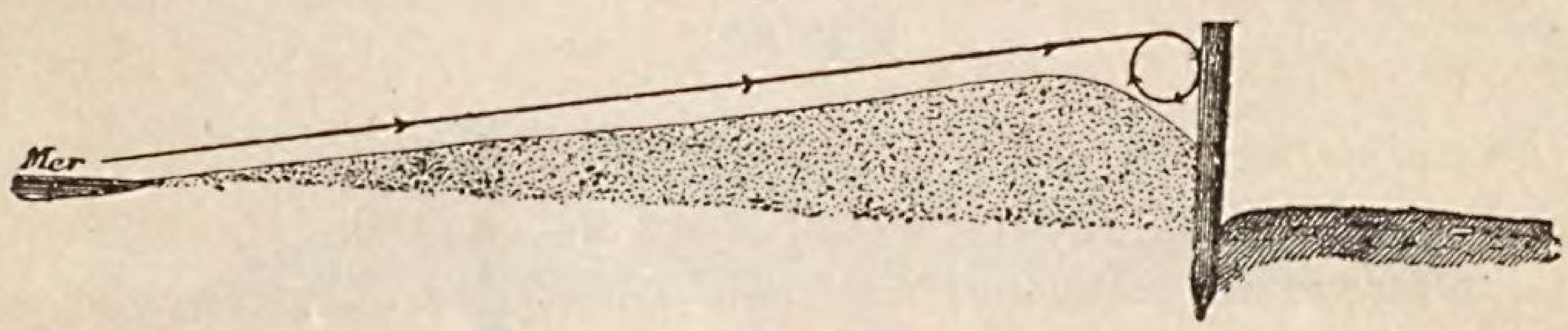
Diejenigen Factoren aber, welche die Dünenbildung am meisten begünstigen, sind Ebbe und Fluth, überhaupt lebhafter Wellenschlag an der Küste, sei es auch, dass derselbe eine Folge von Seestürmen ist. Ohne diese Beihilfe kommt sie überhaupt nicht zu Stande oder gelangt wenigstens nicht über die ersten Entwicklungsstadien hinaus. Das Meer setzt bei jeder Aufregung, sowohl bei der regelmässig wiederkehrenden Fluth, als auch bei Sturm, am Strande Sandmassen ab, welche es theils aus seinem eigenen Grunde aufgewühlt, theils vom Uferrande hinweggespült hat oder welche von den Flüssen herzugetragen worden sind. So lange die Sandkörnchen nass sind, haften sie ziemlich fest an einander; sobald sich jedoch das Meer zurückzieht, sei es, dass die Ebbe wieder eintritt oder dass der Seesturm nachlässt, so werden sie trocken gelegt, und es entsteht ein loser Sandhaufe, der vom Seewinde landeinwärts getrieben wird. Hieraus erklärt sich zugleich, dass Meere mit kaum bemerkbaren Gezeiten, wie Ostsee und Mittelmeer, im allgemeinen nur unbedeutende Dünen an ihren Ufern aufweisen, während sie am offenen Ocean oft ganz ansehnliche Höhen erreichen. So erheben sich die Dünen in der Provence höchstens 7 Meter hoch, in Holland hingegen bei Schoorl 40,7 Meter, bei Bergen op Zoom 33,4 Meter, bei Velsen 32,6 Meter, in den Landes 89 Meter, zwischen Cap Bojador und Cap Verde 120 bis 180 Meter und in der Neuen Welt bei Morro-Melancia (in der Nähe von Cap San Roque) 45 Meter.

[1]) Skizze der Nilländer. Berlin 1865. S. 54.

Würde der Strand im strengsten Sinne des Wortes eine Ebene sein, so würde sich der durch die Wogen des Meeres ausgeworfene und vom Winde fortgeführte Sand in Schichten von gleichmässiger Dicke über den Boden ausbreiten. Indessen ist keine Strandfläche ohne Unebenheiten; vielmehr stellen sich zahlreiche kleine Hindernisse in Gestalt von Steinen, Muschelbruchstücken, Gestrüpp oder irgend welchen zufällig vom Meere angeschwemmten Gegenständen dem Winde und den von ihm fortgewehten Sandmassen entgegen. Der durch Anprall an die genannten Dinge in seiner freien Bewegung gehemmte Wind lässt, weil seine Geschwindigkeit verzögert und somit seine Stosskraft vermindert wird, eine kleine Wolke des Sandes, mit welchem er belastet ist, vor jenem Hemmniss fallen, und so ist der Process der Dünenbildung eingeleitet[1]).

Wenn der Seewind genügende Stärke besitzt, so kann man das Wachsthum der Dünen direct beobachten, insbesondere dann, wenn man eine Reihe von Pfählen rechtwinklig zur Richtung des Windes in den Sand einschlägt (Fig. 63). Sogleich bricht sich die Luftströmung an dem Hinderniss, um eine wirbelartige Bewegung zu voll-

Fig. 63.



Bildung der Düne.

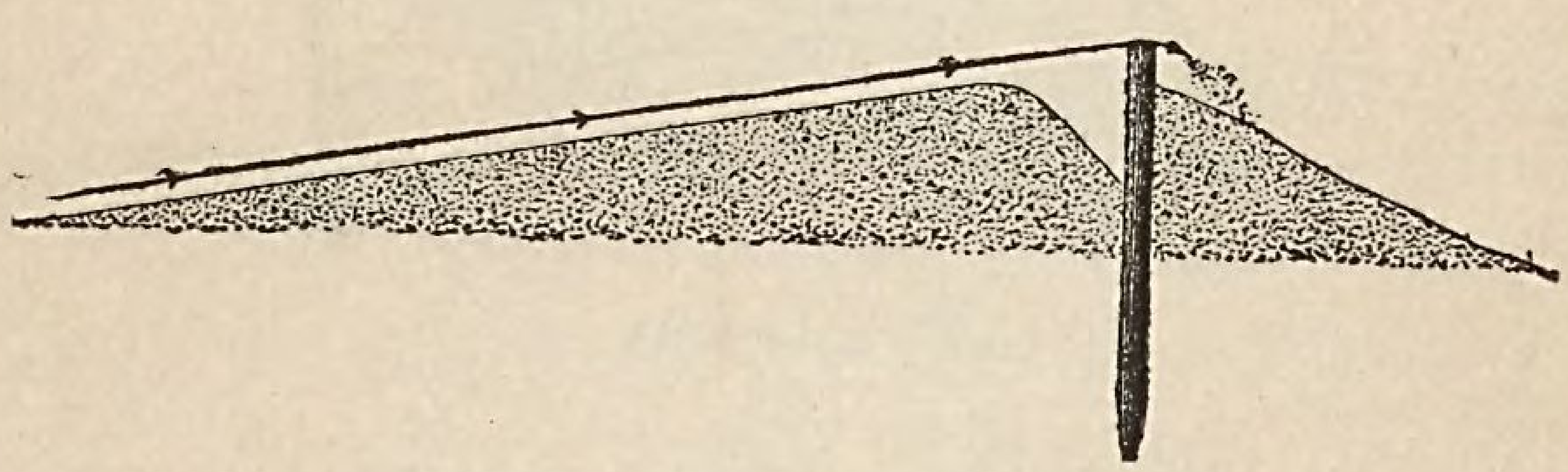
ziehen. Der von ihr beschriebene Kreis entspricht stets der Höhe des Pfahles, soweit derselbe aus dem Sande emporragt. Festgehalten durch jenen Wirbel, sinken die herzugeführten Sandkörner vor der Barrière zu Boden, bis sich der Gipfel der Düne im Niveau einer geraden Linie befindet, welche den Fuss der Düne mit dem oberen Ende der Barrière verbindet. Nun erfährt der Wind keine wesentliche Hemmung mehr; ungehindert streicht er über die kleine Schlucht hinweg, in welcher sich ehemals der Sandwirbel bildete, und lässt erst auf der hinteren Seite der Pfahlreihe und zwar unmittelbar an dieser die Sandtheilchen fallen. Diese Seite ist ja der Gewalt des Windes gänzlich entzogen; der herüber gewehte Sand steht also nur unter dem Einfluss der Schwere und rieselt erst dann nicht weiter herab, wenn die kleinen Sandkörn-

[1]) Vgl. Élisée Reclus, La Terre. Paris 1869. Tome II, p. 250 sq. Reclus schildert hier in meisterhafter Weise die verschiedenen Stadien in dem Bildungsprocesse der Dünen.

chen die Unebenheiten des Abhanges vermöge ihrer Schwere nicht mehr zu überwinden vermögen. Hier nimmt demnach die Düne eine Neigung an, bei welcher sich die Gesammtmasse vermöge des Zusammenhangs ihrer Theile eben noch erhalten kann; hier ist also der Steilabfall (Fig. 64).

In den Landes (Südfrankreich) hat der nach dem Meere, also nach der Windseite gerichtete Abhang eine durchschnittliche Neigung von 7 bis 12 Grad, während der östliche, also binnenwärts liegende Abhang mit einer Böschung von 29 bis 32 Grad abstürzt. Sie würde jedenfalls bis 45 Grad steigen, wenn nicht der Regen sie etwas besänftigte. Besitzen die Dünen einen Steilabfall gegen das Meer, so ist dieser meist durch Auswaschung zu erklären, es sei denn, dass die Dünen dem Landwind (z. B. dem Nordostpassat), wie in Nordafrika, ihre Entstehung verdanken, in welchem Falle ja naturgemäss der Steilabhang der Düne dem Meere zugewandt sein muss. Auf der Halbinsel Hela (bei Rixhöft) erreicht der Böschungswinkel der Dünen gegen das Meer hin bisweilen eine Grösse von 20 Grad und ist sehr veränderlich; seeabwärts zeigen sie meist eine Neigung zwischen 26 und 31 Graden [1]).

Fig. 64.



Bildung des steileren, landeinwärts gerichteten Dünenabhanges.

Betrachten wir noch einmal Fig. 64, so erkennen wir sofort, warum Häuser, welche durch Dünen verschüttet worden sind, nach der Meerseite zu gewöhnlich durch eine grabenähnliche Vertiefung von dem Kamm der Düne getrennt sind, während an der dem Innern des Landes zugekehrten Seite der Sand sich unmittelbar am Hause wohl bis zur Höhe des Daches anhäuft. Derselben Erscheinung begegnen wir am Fusse der grossen Pyramiden Aegypten's, an denen sich die Sandmassen in der Weise ablagern, dass diese Denkmäler im Osten durch eine Schlucht von den hierher gewehten Sandmassen geschieden sind, während sich dieselben auf der entgegengesetzten Seite unmittelbar an diese Monumente anlehnen.

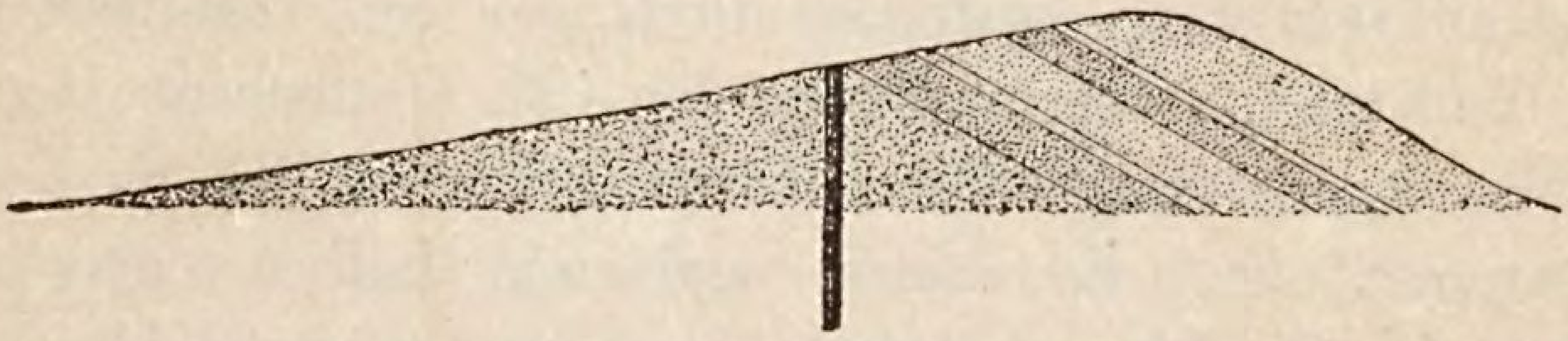
[1]) Julius Schumann, Geologische Wanderungen durch Altpreussen. Königsberg 1869. S. 65.

Führt der Wind immer neue Sandmengen herbei, so verschwindet allmählich das ursprüngliche Hinderniss unter der Anhäufung der Sandmassen und zwar zunächst unter den Schichten des steileren, landeinwärts gerichteten Abhanges. Da der atmosphärische Strom nun frei über das Hinderniss hinwegstreicht, welches zuerst die Dünenbildung einleitete, so wird auch der Sand durch nichts mehr verhindert, nach und nach die Schlucht auszufüllen, welche früher der Luftwirbel vor dem Pfahlwerk offen hielt. Bald befindet sich der Kamm der Düne gerade über der Barrière; diese ist demnach vollständig vom Sande begraben.

Unablässig trägt der Wind neues Material zum Bau der Düne herzu; der Sand steigt bis zum Gipfel hinauf und gleitet auf der anderen Seite bis zur Basis der Düne wieder hinab. Der Fuss der hinteren Böschung rückt so weiter landeinwärts und mit ihm zugleich der ganze hintere Abhang sowie der Kamm: die Düne wächst hinsichtlich ihrer Breite und Höhe.

Nicht immer ist das herzugeführte Material ein gleichartiges. Einmal hat eine sanfte Brise nur feinen, staubähnlichen Sand herzugeweht; ein andermal herrschte stärkerer Wind, welcher zugleich groben

Fig. 65.



Dünenschichten aus verschiedenartigem Material.

muscheligen Sand fortbewegte, oder es tobte ein Sturm, welcher selbst Muscheln, Zweige und angeschwommene Gegenstände fortriss. Ein in die Dünen eingearbeiteter Graben zeigt in der That, dass der dem Innern des Landes zugekehrte Theil der Düne aus einer Anzahl Schichten besteht, deren Material sehr verschiedenartig ist (s. Fig. 65). Es ist unmittelbar klar, dass im allgemeinen die Composition um so feiner wird, je weiter sich die Dünen von der Küste entfernen; denn je feiner das Korn ist, um so rascher und leichter, also auch um so weiter wird es vom Winde fortgetrieben.

Aber die Thätigkeit des Windes beschränkt sich nicht allein darauf, die Dünen zu vergrössern; sie zwingt dieselben vielmehr zuletzt im eigentlichen Sinne des Wortes zu wandern. Der Gegenstand nämlich, vor welchem anfänglich die Sandablagerungen stattfanden, wird im Laufe der Zeit auf irgend welche Weise zerstört. Insecten, Unwetter, Feuchtigkeit oder chemische Kräfte bewirken seinen Verfall;

sobald dies aber geschehen ist, wird der Sand, welchem er früher Halt gebot, wieder beweglich. Der Wind, welcher ehemals nur die oberflächlichen Schichten der Düne angriff, um sie unermüdet durch neue Sandlagen zu ersetzen, vermag jetzt den ganzen vorderen Theil der Düne hinwegzureissen; er verschiebt den hinteren Abhang auf Kosten des maritimen, und so rückt die ganze Basis des Hügels landeinwärts: die Düne wandert.

Wird durch heftige Windstösse ein Theil des Dünenmaterials weit fortgeführt bis zu einem anderen Hinderniss, so kann dies die Ursache einer neuen Dünenbildung werden. So entstehen oft drei, vier, fünf und mehr Dünenreihen hinter einander. Weit und breit verdirbt der Flugsand Aecker und Wiesen, füllt Seen und Gewässer aus und nöthigt wohl gar die Küstenbewohner, ihre Wohnungen zu verlassen.

Nicht an allen Orten vollzieht sich jenes Wandern der Dünen mit derselben Geschwindigkeit; denn wie ihre Grösse, so ist auch ihre Bewegungs-Geschwindigkeit von der Kraft und Beharrlichkeit der Winde abhängig; doch ist die Schnelligkeit nicht selten so bedeutend, dass die dahinter liegenden Ortschaften ernstlich bedroht werden. So berichtet uns Guthe[1]) von den Dünen der friesischen Inseln, dass sie, nie rastend, mit gespenstischer Gleichförmigkeit nach Osten über Felder und Wiesen fortschreiten, Häuser und Kirchen verschüttend. Um die letzteren entspinnt sich dann zuweilen ein langer und erbitterter Kampf. Durch die Fenster kriecht man zuweilen in's Gotteshaus, in welchem sich ebenfalls bereits Sandhügel aufrichten, bis endlich auch der letzte Eingang versperrt ist. Es dauert wohl ein halbes oder ein ganzes Jahrhundert, ehe die Mauertrümmer und in den benachbarten Friedhöfen die Särge in den Dünenthälern und am Strande wieder zum Vorschein kommen, und man beerdigt die Todten zum zweiten Male auf dem neuen Kirchhofe, den die inneren Dünen bereits wieder erreicht haben. Auf solche Weise wandern oft meilenweite Strecken, ja ganze Inseln, wie Amrom und Sylt. Nicht selten werden durch das Vordringen der Dünen Meeresarme verschlossen (in Südfrankreich étangs genannt), welche sich dann nur durch enge Wasserstrassen entleeren oder zu Sümpfen werden.

In mehreren dünenreichen Gebieten hat man die Geschwindigkeit festzustellen versucht, mit welcher die Dünen vorrücken. Aus der Thatsache, dass die um 1650 um 200 Ruthen ostwärts verlegte Kirche von Ording in Eiderstädt (in der Südwestecke von Schleswig) im Jahre 1777 schon wieder am Fusse der Dünen lag, lässt sich ein jährliches

[1]) Hermann Guthe, Die Lande Braunschweig und Hannover. Hannover 1867. S. 11.

Vordringen der Dünen von etwa $1\frac{1}{2}$ Ruthen (= 7 Meter) ableiten. Ungefähr dieselbe Geschwindigkeit ergiebt sich auch für die Dünen der Insel Sylt und der Niederlande [1]. Auf der frischen Nehrung wandern die Dünen jährlich um 3,75 bis 5,6 Meter, auf der kurischen Nehrung etwa 5,5 Meter. Nach Brémontier's Untersuchungen schreiten die Dünen von Teste (im Gebiete der Landes) jährlich 20 bis 25 Meter vorwärts und in gleichem Masse auch diejenigen von Lége [2]. Betrachtet man diese Zahlen als einen für längere Zeiträume geltenden Mittelwerth, so gelangt man zu dem Schluss, dass 20 Jahrhunderte genügen würden, eine Dünenbedeckung für das weite Gebiet der Landes bis Bordeaux herbeizuführen.

Es lässt sich nun die Frage aufwerfen: Warum sind die Dünen nicht längst schon tief in das Binnenland vorgerückt, wenn ihr Bildungsprocess sich schon seit Jahrhunderten und noch länger unausgesetzt vollzieht? Warum bedrohen sie nicht mehr und mehr binnenländische Gebiete? Hierauf ist zu erwidern, dass die Dünen nie eine Zone überschreiten, in welcher sich Land- und Seewind in Bezug auf Intensität und Dauer ungefähr die Wage halten. Insbesondere dringen sie dann nicht tiefer in das Innere des Landes ein, wenn sich hier die Windrichtung häufig und regellos ändert; in diesem Falle werden die Sandmassen ebenso regellos verstreut und vermögen keine Sandhügel zu bilden. Auch werden sie, was natürlich nur vereinzelt vorkommt, zeitweise nach demselben Meere zurückgetrieben, dem sie ihren Ursprung verdanken, wie in Westpreussen; wenigstens scheint dort der bisweilen gegen das Meer gerichtete Steilabfall darauf hinzudeuten [3].

Auffallend ist es, dass die alten Bataver, Angeln und Friesen in ihren Mundarten kein Wort hatten, welches einen Hügel von beweglichem Sand bezeichnete. Doch könnte dies auch eine Folge davon sein, dass die Sprache dieser Völker bereits vollständig entwickelt war, ehe sie in die von ihnen bewohnten dünenreichen Küstengebiete gelangten. Auffallender noch ist es, dass weder Strabo noch Plinius, noch irgend ein anderer Schriftsteller des Alterthums von wandernden Sandhügeln spricht. Indessen beschreiben diese auch andere Naturerscheinungen nicht, welche doch sicher vor Jahrtausenden bereits bestanden, wie die Gletscher, und so ist auch das Schweigen der classischen Autoren über die Dünen kein Beweis dafür, dass die letzteren ehemals überhaupt nicht existirten.

Und doch sind die wandernden Dünen in unserem Erdtheil un-

[1] Hermann Guthe, l. c. S. 12.

[2] Élisée Reclus, l. c. Tome II, p. 271.

[3] Julius Schumann, Geologische Wanderungen durch Altpreussen. Königsberg 1869. S. 65.

zweifelhaft eine moderne Erscheinung. Unter einer grossen Anzahl von Dünen der Gascogne hat man Stämme von Eichen, Fichten und anderen Holzarten entdeckt. Mehr noch: einige Dünen tragen zur Zeit prächtige Hölzer, welche mindestens mehrere Jahrhunderte alt und wahrscheinlich nicht durch Menschenhand angepflanzt worden sind. So befindet sich bei Arcachon ein herrlicher Wald aus gigantischen Fichten und Eichen. Urkunden von 1332 berichten von Wäldern auf den Dünen von Médoc, in denen Hirsche, Wildschweine und Rehe gejagt wurden, und Michel de Montaigne (1533—1592) schildert die Sandverstäubungen in Südfrankreich, welche „seit einiger Zeit" („depuis quelque temps") mehr und mehr um sich griffen, als eine Neuigkeit. Unglücklicher Weise wurden alle diese schönen Wälder, welche ehemals die flachen Küstengebiete gegen das Eindringen der Sandmassen schützten, am Ausgange des Mittelalters durch unvorsichtige Bauern und Edelleute zerstört, und nun wälzten sich die Verderben bringenden Sandfluthen ungehindert über das Land [1]).

Noch neueren Ursprungs sind die Verheerungen, welche die Dünen im Gebiete des frischen Haffs herbeigeführt haben. Bis in's vorige Jahrhundert war die frische Nehrung von Danzig bis Pillau mit Wald bedeckt. Diese schönen und in hohem Grade nützlichen Bestände fielen einer Finanzspeculation des Herrn v. Korff unter Friedrich Wilhelm I. zum Opfer, welche dem königlichen Schatze zwar 200 000 Thaler baar einbrachte, dem preussischen Lande aber einen Schaden von Millionen zufügte durch die unheilbare Entblössung des Schutzwalles; denn seitdem schreiten die Dünen unaufhörlich gegen das Innere des Haffs vor. Bereits ist dasselbe zur Hälfte versandet; starker Schilfwuchs droht dasselbe in einen Sumpf zu verwandeln; die Wasserstrasse nach Elbing ist gefährdet und der Fischfang stark beeinträchtigt. Mächtige Sandmassen umlagern die Festungswerke von Pillau und verändern überhaupt in höchst ungünstiger Weise die hydrographischen Verhältnisse jener Gegenden [2]). Nicht minder schlimme Folgen hat die Entwaldung des Küstengebietes in Holland, in der Bretagne, an den Ufern des Michigan-Sees, bei Cap Cod (Massachusetts) und anderwärts nach sich gezogen. Reclus bemerkt mit Recht: Die Uferbewohner dieser Gegenden haben sich über niemand anders zu beklagen als über sich selbst: die wandernden Dünen sind ihr Werk. Es gilt hier mehr als irgendwo, vorsichtig zu sein; denn eine einzige Unbedachtsamkeit kann grosses Unglück hervorrufen: so ver-

[1]) Élisée Reclus, l. c. Tome II, p. 274 sq.

[2]) Foss in der Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin. Band. XI (1861), S. 251 ff.

dankt eine der höchsten Dünen von Friesland (bei Staring) ihren Ursprung der Zerstörung einer einzigen Eiche[1]).

Sache des Menschen ist es nun, dem weiteren Vordringen jener Sandhügel zu wehren, und die Natur selbst hat ihm hierzu Mittel an die Hand gegeben, indem sie Pflanzen erschuf, welche selbst auf dem dürrsten Sandboden fortkommen und so gesellig leben, dass sie den Boden mit einer dichten Decke zu überkleiden vermögen. Sie gewähren einen Schutz gegen die Sandwehen, indem sie zunächst den Flugsand mit ihren Blättern auffangen und sodann vermöge ihres dichten, reich verschlungenen Wurzelsystems den Sandmassen einen festen Zusammenhalt verleihen.

Nur in der tropischen Zone sorgt die Natur häufig selbst dafür; weithin überziehen hier Mangrovewaldungen die Küstengebiete und verhindern so das Wandern der Dünen. In der gemässigten Zone jedoch bedarf es hierzu der energischen Thätigkeit des Menschen, welcher zweckentsprechende Gewächse auf den Sandhügeln anzupflanzen hat.

In hohem Grade eignet sich zur Befestigung der Dünen der Sandhalm, Ammophila arenaria, ein graugrünes, $^2/_3$ bis 1 Meter hohes Gras. Von den 5 bis 10 Centimeter langen Gliedern des walzenförmigen Wurzelstockes gehen lange, dünne, wagerecht laufende Wurzelfasern aus, und am unteren Stammende befinden sich 5 oder 6 Blätter, in deren Blattwinkeln kleine Knöspchen stehen, aus denen sich neue Pflanzen bilden, sobald sie mit Sand bedeckt werden. Die Aehren, welche in der Mitte des August reifen, sind ausserordentlich reich an Körnern, was natürlich der Verbreitung der Pflanze sehr förderlich ist. Für den oben genannten Zweck erweist sie sich auch deshalb als höchst brauchbar, weil sie selbst im Winter Halm und Blatt bewahrt und weil ferner Sandüberschüttungen durchaus nicht ihren Tod herbeiführen, sie vielmehr zu stärkerer Entwicklung von Seitentrieben und Schösslingen anregen. Noch in einer Tiefe von 6 Metern sind die Wurzeln dieser Pflanze lebensfähig.

Nicht ganz so hilfreiche Dienste wie der Sandhalm leistet der Strandhafer, Elymus arenarius, da seine Blätter im Winter absterben und auch Mutterpflanze und Schösslinge weniger dicht verfilzen als bei jenem.

Sind mit Hilfe dieser beiden Pflanzen die Dünen zum Stillstand oder „vor Anker“ gebracht worden, so bildet sich gar bald durch Blattabfall eine dünne Humusschicht. Nun stellen sich auch grössere Pflanzen ein, z. B. der Seedorn (Hippophaë rhamnoides), dessen dichtes Gestrüpp sich auch dann noch reichlich entwickelt, wenn die unteren Theile in Sand vergraben sind, die Sandsegge (Carex arenaria), welche

[1]) Élisée Reclus, l. c. Tome II, p. 275.

durch ihren 10 Meter langen Wurzelstock die anderen Pflanzen fest verknüpft, Gagel (Myrica gale) und die Krähenbeere (Empetrum nigrum). Eine Weide (Salix repens) kriecht den Abhang hinauf; wilde Rosen (R. pimpinellifolia) und der Wachholderstrauch siedeln sich an. Haidekraut überzieht den Boden mit einer dichten Decke, und so werden allmählich diejenigen Pflanzen wieder verdrängt, welche die Befestigung der Dünen einleiteten [1]).

Die Holländer, diese grossen Meister für alle Arbeiten am Meeresufer, sind die ersten gewesen, welche die Nothwendigkeit erkannten, die Dünen zu befestigen. Es geschieht dies an den niederländischen Küsten seit mehr als einem Jahrhundert durch Anpflanzung von Sandhalm und Strandhafer, sowie von Ahorn- und Tannengehölz. In Frankreich war es Brémontier, welcher im Jahre 1787 die „Dämpfung“ der Dünen in den Landes begann. Bis zum Jahre 1793 hatte man in der Umgebung von Arcachon dem Wandern des Flugsandes bereits auf einer Fläche von 250 Hectar gesteuert durch Anlegung von Tannen- und Eichenwaldungen und zwar um den Preis von nur 200 Francs für den Hectar. In unserem Jahrhundert wurde das Werk der Wiederbewaldung fortgesetzt und zwar mit besonderem Eifer unter der Regierung Napoleon's III., der sich in dieser Hinsicht grosse Verdienste erworben hat.

In Folge des wachsenden Preises des Holzes und des Harzes, welches die Tannen liefern, hat sich auch der Werth der Wälder im Gebiet der Landes ausserordentlich erhöht; man darf denselben bereits auf 25 Millionen Francs, den Hectar zu 600 Francs gerechnet, schätzen. Eine der schönsten Waldungen ist das Tannengehölz bei Dax, welches eine Breite von nicht weniger als 25 Wegestunden besitzt. Den Tannenwäldern verdankt ein grosser Theil der Landes seinen gegenwärtigen Wohlstand. Sehr ansehnlich ist namentlich die Menge des ausfliessenden Harzes, welches aus 5 bis 6 Ritzen am Fusse aller grossen Tannenbäume hervorquillt. Leider zeigt sich auch hier die Thorheit der Menschen, welche so oft die Henne schlachten, die ihnen goldene Eier legt. Gereizt durch die Menge Geldes, welche ihnen die Harzernte einbringt, schädigen sie die Bäume durch übermässiges Anbohren, und so sind hie und da ansehnliche Anpflanzungen bereits wieder zerstört worden. Auch Eichenwälder hat man in den Landes angelegt; insbesondere scheint die Korkeiche eine hohe landwirthschaftliche Bedeutung zu erlangen. So ringt man darnach, die Schäden wieder zu beseitigen, welche durch menschliche Unbedachtsamkeit einst dem Lande zugefügt wurden.

[1]) Hermann Guthe, l. c. S. 12 f.

XIII. Die Fjordbildungen[1]).

Fjorde sind tiefe und steile Schluchten an Festlands- oder Inselküsten. Sehr häufig dringen diese Einschnitte senkrecht oder unter sehr steilen Winkeln in das Land hinein. In den letzteren Fällen kann es geschehen, dass zwei solcher Fjorde sich zu einer Gabel vereinigen und ein Inseldreieck mit schmaler Grundlinie und langen Schenkeln von dem Festlande ablösen. Die aussenliegenden Inseln und die Mündungen der Fjorde lassen uns noch deutlich erkennen, dass die Küstenlinie vor ihrer Verletzung glatt und ziemlich gerade verlief. Am reinsten wird diese Art Zerrüttung an der Westküste Grönland's sichtbar; dort dringen die Einschnitte tief landeinwärts; sie sind auffallend schmal, erstrecken sich fast alle mehr oder weniger senkrecht zur Richtung der Küste, deren ehemaligen Rand das geistige Auge ohne jeden Zwang wieder herzustellen vermag (Fig. 66). Nicht immer aber stehen die Einschnitte senkrecht auf der Küste, sondern sie werden auch durch Längenklüfte gekreuzt, welche parallel der Küste folgen, oder sie verzweigen sich mit Vorliebe unter spitzen Winkeln in's Innere. Derartige Erscheinungen treffen wir an der Westküste von Nordamerika nördlich von der Juan de Fuca-Strasse bis zum Thlinkiten-Archipel und ebenso an der Westküste Südamerika's von der Insel Chiloë bis zum Cap Hoorn.

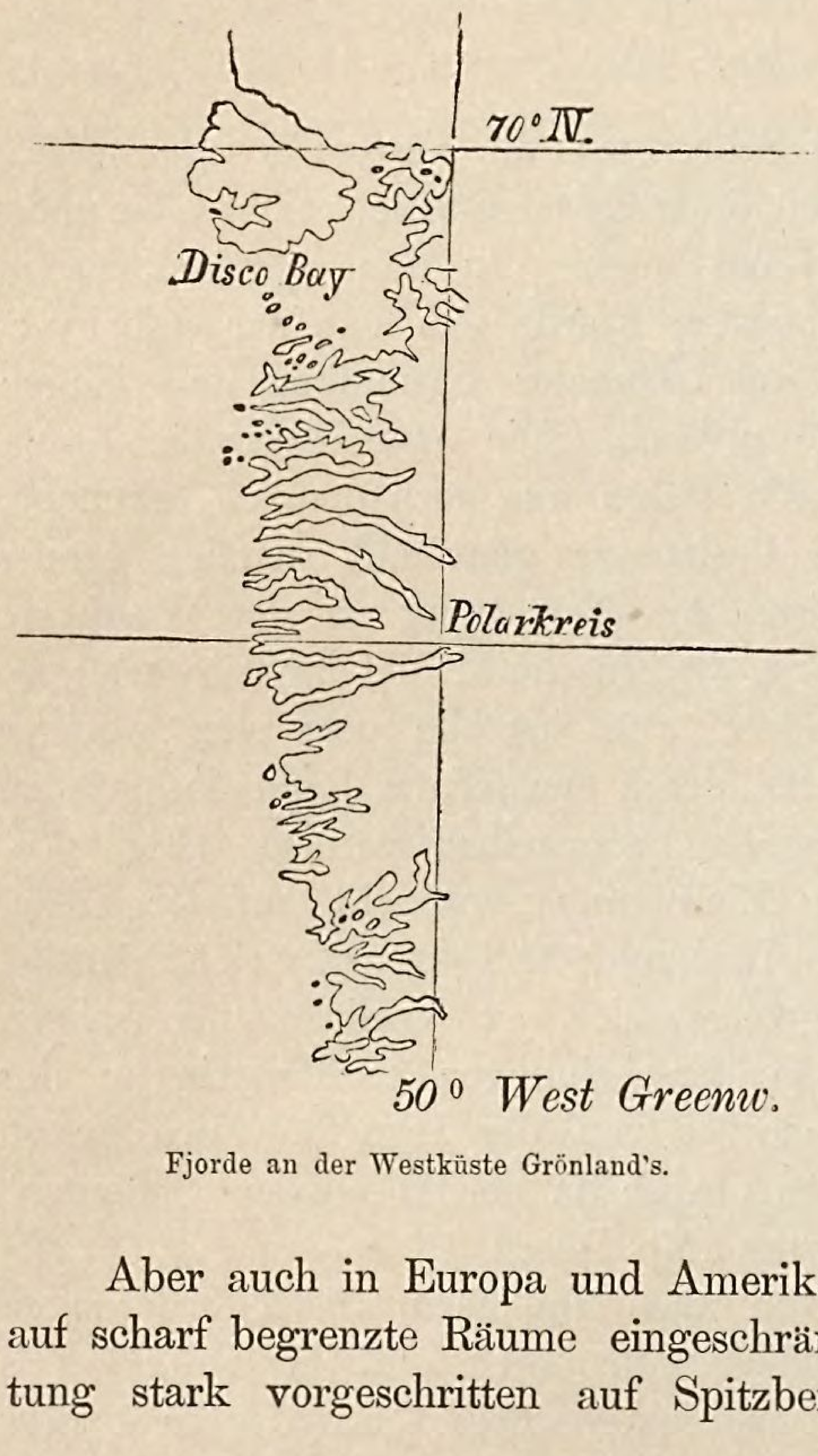
Was die Fjorde jedoch von allen ähnlichen Küstengliederungen streng unterscheidet, ist ihre örtliche Anhäufung und ihr geselliges Auftreten. Sie sind an irgend einer Stelle entweder in grosser Anzahl vorhanden, oder sie fehlen gänzlich. Nicht einmal da, wo eine Fjordküste endet, findet ein allmählicher Uebergang zu weniger reich

[1]) Dieser den „Neuen Problemen" (3. Aufl. S. 9—23) entlehnte Abschnitt hat eine durchgreifende Umarbeitung erfahren; insbesondere ist die zweite Hälfte im wesentlichen von dem Herausgeber neu hinzugefügt.

gegliederten Ufern statt; vielmehr ändern dieselben plötzlich ohne vermittelnde Formen ihren Charakter. Die Fjordküsten gewähren uns das Gemälde von früher glatt und gerade verlaufenden, dann mürbe gewordenen, zerfetzten und zertrümmerten Rändern der Festlande oder Inseln.

Wer auf einer grösseren Erdkugel oder einer geräumigen Erdkarte eine Musterung hält, der wird rasch inne werden, dass von unseren fünf Welttheilen nur zwei ächte Fjordbildungen besitzen. Sie fehlen nicht nur in Afrika und in Neuholland, sondern auch auffallender Weise an allen Küsten Asien's, wenn man, wie dies wohl ohne Widerspruch geschieht, die Inselgruppe Nowaja Semlja zu Europa zählt. Nur die Küsten unseres Welttheils und die amerikanischen sind von jenen Verheerungen heimgesucht worden. Selbstverständlich rechnen wir dabei Grönland zu Nordamerika, da der Vorschlag des Polarentdeckers Elisha Kent Kane, Grönland, dessen Inselnatur durch die Entdeckung der nordwestlichen Durchfahrt vor jedem Zweifel gesichert worden ist, als sechsten Erdtheil gelten zu lassen, bisher sich keines Beifalls erfreut hat[1]).

Fig. 66.



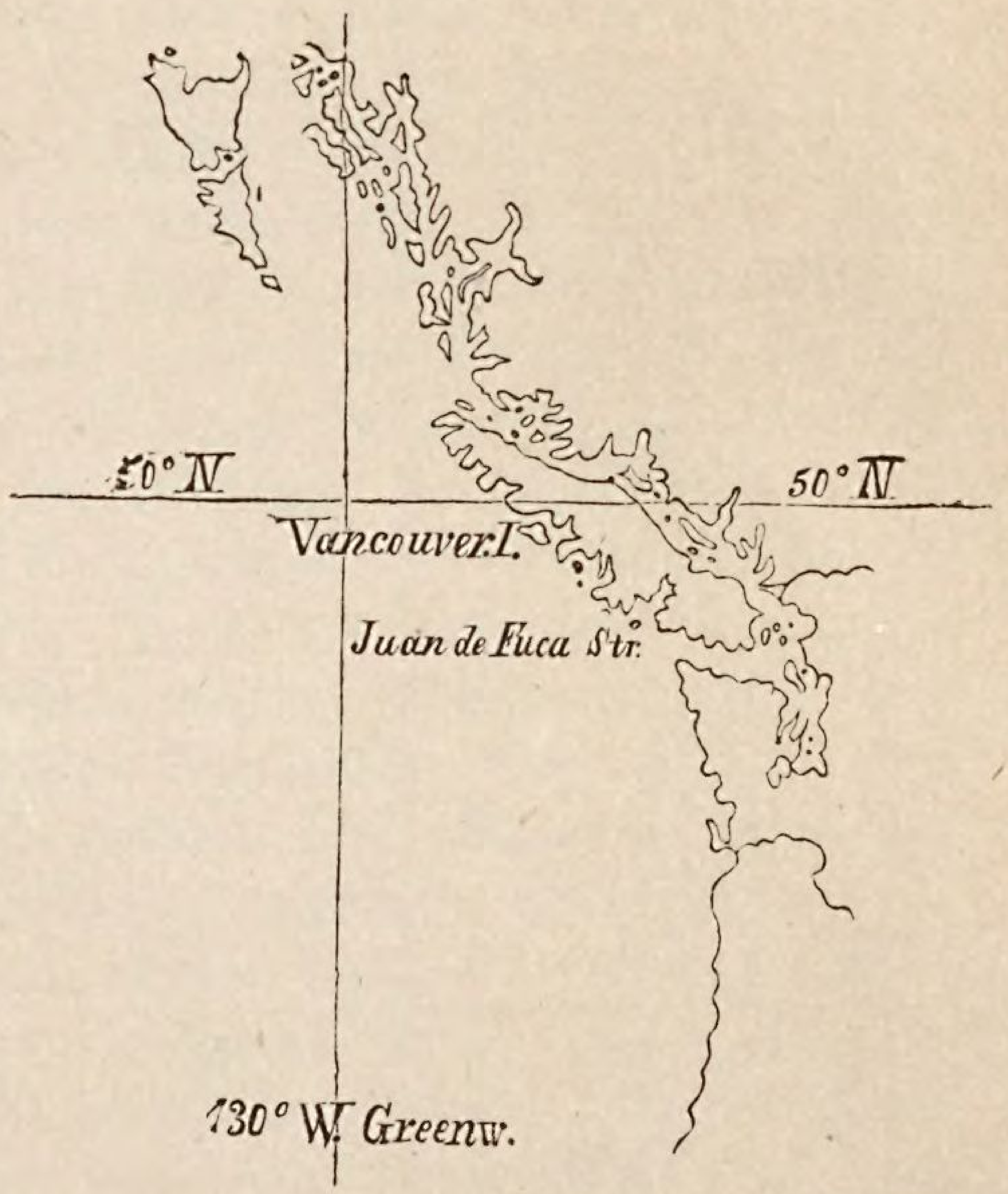
Fjorde an der Westküste Grönland's.

Aber auch in Europa und Amerika ist das Auftreten der Fjorde auf scharf begrenzte Räume eingeschränkt. Wir finden die Zerklüftung stark vorgeschritten auf Spitzbergen, dann an der Nord- und

[1]) Fjorde finden sich auch an Inseln im südlichen Theile des Indischen Oceans, wie an der Kerguelen-Insel, und im südlichen Theile des Atlantischen Oceans, wie an der Falklands-, Süd-Shetland-, Süd-Orkney-, Süd-Georgia- und Süd-Sandwich-Gruppe. Wir berufen uns aber auf diese Beispiele nicht, weil die Gliederung dieser Inseln nur auf Specialkarten nachgesehen werden müsste, die schwerlich der Lesermehrzahl zu Handen sind.

Westküste von Skandinavien, an der Nord- und Westküste von Schottland, an der Westküste von Irland, an der Nord- und Westküste von Island, an bekannten Stellen der Ostküste und längs der ganzen Westküste Grönland's. Der Schauplatz der nordwestlichen Durchfahrt besteht fast nur aus Strassen, Meerengen, Sunden und Fjorden. Auch Labrador fehlen an der Nordküste die Fjorde nicht, wenn es auch, verglichen mit dem gegenüber liegenden Grönland, sehr arm daran ist. An den atlantischen Umrissen Nordamerika's treffen wir scharf gezeichnete Zerklüftungen in Neu-Fundland, schwächer angedeutete bei Neu-Schottland, bis die letzten Bildungen an der Küste des Staates Maine endigen. Weit reicher an gleichartigen Erscheinungen sind am Westrande Nordamerika's die britischen Küsten und die des Territoriums Aliaska (Fig. 67), deren Aehnlichkeit mit den norwegischen Fjordküsten uns von verschiedenen Forschern ausdrücklich bezeugt wird [1]). Von der Vancouver-Insel gegen Süden bespült dagegen das Stille Meer sowohl in Nord-, als auch in Südamerika festgeschlossene und unbenagte Küsten, bis wir uns Patagonien nähern, wo die Verwitterung des Festlandes wieder anhebt, um zuletzt an der Magalhãesstrasse und im Feuerlande durch das Gemälde einer durch Spalten, Klüfte und Risse in zahllose Strassen, Engen, Sunde, Schluchten, in Inseln, Felsenzungen, Hörner, Klippen und Scheeren zertrümmerten Planetenstelle uns zu überraschen (Fig. 68).

Fig. 67.



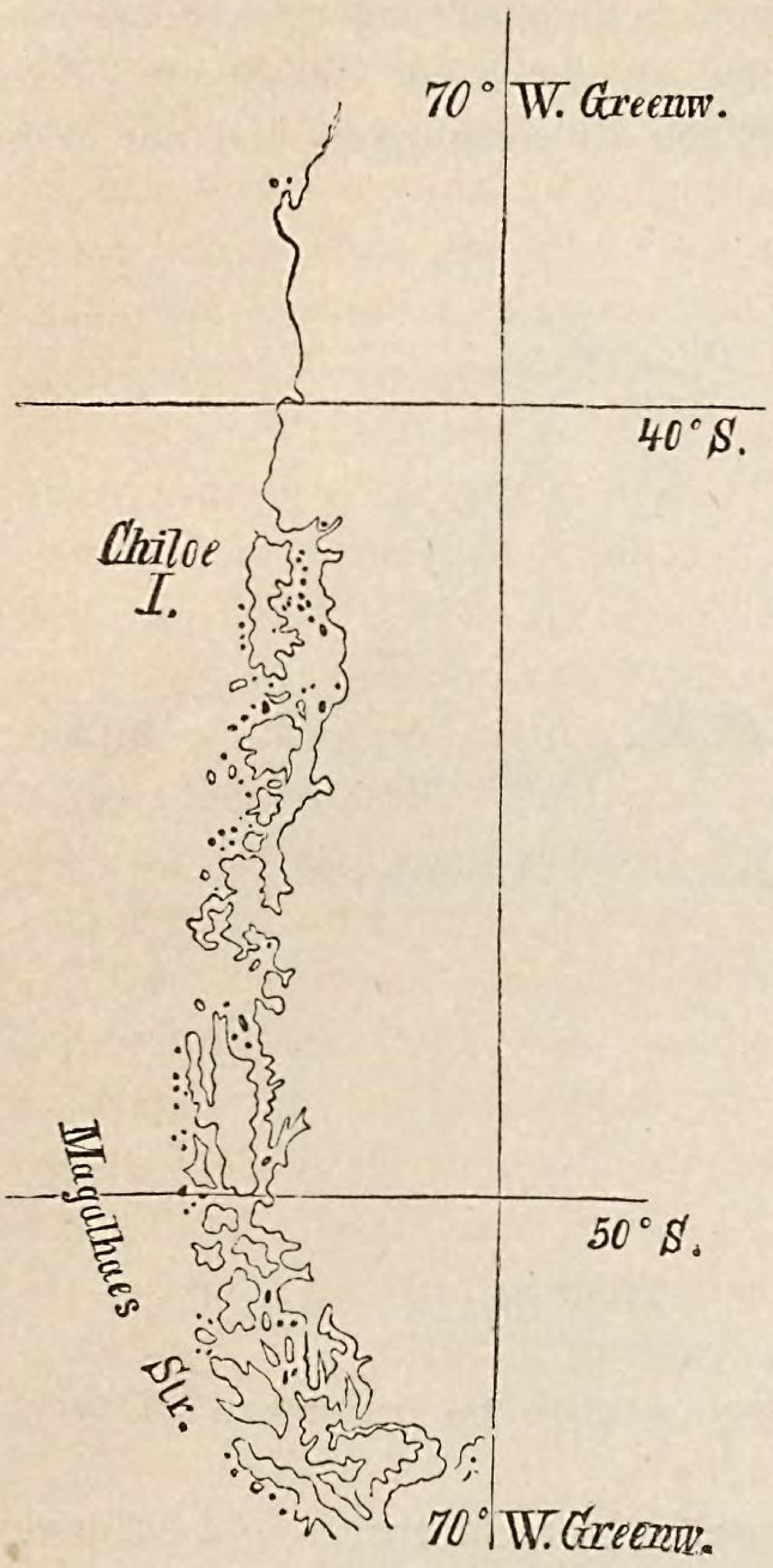
Fjorde an der Westküste von Britisch-Columbien.

Aus der Aufzählung ihres örtlichen Auftretens wollte man schliessen, dass die Fjorde vorzugsweise auf die Nord- und West-

[1]) v. Kittlitz, Denkwürdigkeiten. Gotha 1858. Bd. I, S. 192. F. Whymper, Territory of Alaska. London 1868. p. 19. R. Brown in einem Vortrag auf der Versammlung der britischen Naturforscher in Norwich (Athenaeum 1868, Nr. 2133, p. 341).

küsten beschränkt sind und dass zu ihrer Entwicklung eine westliche oder nördliche Lage erforderlich sei. Gewiss finden sich auch, wie sich aus dem Späteren ergeben wird, die Bedingungen zu einer reichlichen Küstenzerklüftung minder häufig an Ostküsten; doch fehlen sie auch dort nicht gänzlich. In Spitzbergen treffen wir sie allenthalben, und in Skandinavien sind sie auf der Ostseite nur durch das vorliegende Land verhüllt. Man wird bemerken, dass die oberen Läufe sehr vieler Flüsse, die sich in's Baltische Meer ergiessen, durch schlauchartige, enge Gebirgsseen ihren Weg nehmen, so dass, wenn das Baltische Meer sich bis zur Spiegelhöhe dieser Seen erheben oder die Seen durch ein Herabschweben des Landes bis zur Niveauhöhe des Baltischen Meeres sinken könnten, auch die Ostküste Skandinavien's ihre Fjorde, und zwar nicht bloss in den Seen, sondern auch in den Thälern der meisten Flüsse besitzen würde. Um auf Späteres vorzubereiten, möchten wir hier sogleich hinzufügen, dass solche schmale Gebirgsseen, die senkrecht auf der Erhebungsaxe von Gebirgen oder Hochländern stehen, als Binnenfjorde betrachtet werden können. Die Armuth der Ostküste Grönland's an Einschnitten ist den Mängeln unserer Karten beizumessen. Selten ist die dortige Küste zugänglich gewesen, weil ein Saum von Eis und Treibeis die Landungen von Walfängern verhinderte. Dass auch dort eine starke Zerrüttung landeinwärts schreitet, bezeugt uns das nördliche Stück von lat. $69^1/_2{}^0$ bis lat. 75^0, welches von Scoresby und Clavering aufgenommen werden konnte und dessen Umrisse zwar weniger Aehnlichkeit mit der Westküste von Grönland, desto mehr aber mit den

Fig. 68.



Fjordbildungen an der Westküste Patagonien's.

Uferrändern von Britisch-Nordamerika und dem Territorium von Aliaska besitzen. Nicht gänzlich fehlt es jedoch dieser Ostküste an ungewöhnlich tief eindringenden Meeresschluchten. Scoresby vermuthete sogar, dass der nach seinem Vater von ihm benannte Sund, bis zu dessen Vertiefung er nicht vorzudringen vermochte, sich quer über ganz Grönland bis zur Baffinsbay erstrecken könnte, worüber jedermann freilich denken kann, was er will.

Die grössere Häufigkeit der Einschnitte an den Nord- und Westküsten Schottland's, Irland's und Island's dürfen wir aber nicht gänzlich aus dem Gesicht verlieren. In Bezug auf das letztere bemerkt G. G. Winkler in seinem Buche über Island: „Nur die an den Rand der Insel hinausgeschobenen Bergmassen sind eingeschnitten und zwar sehr tief und vielfältig, so dass der Gegensatz zu den Massen des Innern um so auffallender ist. Jedoch im Südosten der Insel tritt die grösste Massenanhäufung, der Klofajökull, auch mit geschlossenem Rande zum Meere heran.“ Noch bestimmter drückt sich Karl Vogt aus[1]). „Es ist sehr leicht,“ belehrt er uns, „auf der ersten besten Karte Island's, auch wenn sie nicht geologisch colorirt ist, den Umfang der basaltischen und vulcanischen Zone an der Meeresküste nachzuweisen. Ueberall, wo tief eingeschnittene, zackige Fjorde, oft durch lange Zungen und hohe Rücken von einander getrennt, die Contouren der Meeresküste bilden, wo die Küsten steil in die See hinein abfallen, so dass häufig nur bei Ebbe auf dem Kies des Strandes, häufig aber gar kein Weg längs des Meeres hinführt, — überall da kann man mit Bestimmtheit sagen, dass der Basalt und die ihm zugehörigen Gesteine die Küste bilden. Wo hingegen weite Sandflächen sich langsam und allmählich gegen das Meer hin abflachen, wo lange, schmale Dünenwälle, hinter welchen die Flüsse sich stauen und ablenken, seichte Lagunen von dem Meere selbst abtrennen, da kann man mit Sicherheit darauf rechnen, dass die neuen Vulcane bis zu der Küste herangehen. Zieht man eine Linie von Cap Reykjanes im Südwesten nach Cap Langanes im Nordosten Island's, so ist alles im Norden gelegene Land einzig und allein von Basaltströmen gebildet.“

Man würde Vogt gewiss missverstehen, wenn man seinen Worten den Sinn beilegen wollte, als ob die Erscheinung der Fjorde an das Auftreten des Basalts gebunden sei; denn die Fjordeinschnitte sind fast in jeder Formation anzutreffen. Sie verschonen weder Jugend noch Alter der Felsarten, weder Laven noch Geschichtetes, weder Krystallinisches noch Geschiefertes. Nicht der chronologische Rang der

[1]) Nordfahrt entlang der norwegischen Küste etc. Frankfurt a. M. 1863. S. 403 f.

Gesteine, wohl aber ihre innere Structur und ihre chemischen Bestandtheile haben einigen Einfluss auf das Zeitmass der Verwitterung. Je rascher die Felsarten einer Fjordküste zersetzt werden, desto mehr werden sich die Fjorde in Inseln, Klippen und Scheeren vor der Küste verwandeln; je spröder und dichter ihr Gefüge, je besser ihre Bestandtheile der Zersetzung widerstehen, desto regelmässiger werden die Einschnitte sein, und desto länger wird der Process des Uebergangs aus einer Fjordküste in einen Scheerensaum dauern. Capitain King[1]), dem wir nach Fitzroy unser neueres Wissen von der Magalhães'schen Inselwelt verdanken, bemerkt von den Fjorden des Feuerlandes, dass sie überall unregelmässig mit Inseln bestreut sind, wo granitische und Trappformationen vorkommen, dass sie aber in der Thonschieferformation so schnurgerade sich ausstrecken, dass ein Parallellineal, auf der Landkarte am südlichen Ufer eines Sundes angelegt, auf der entgegengesetzten Küste ebenfalls die Vorlande berühren würde. Es ist demnach wohl klar, dass die abwechselnde Physiognomie von Fjordküsten, der höhere oder geringere Grad ihrer Auflösung entweder der grösseren oder minderen Energie der zerrüttenden Kräfte oder dem grösseren oder geringeren Widerstand der Felsarten beizumessen ist. Es darf uns daher nicht beunruhigen, dass der südliche Theil der Westküste Grönland's, wo sich die Küstenspalten so scharf und regelmässig folgen, wie wir durch Rinck wissen, aus Granit und Gneiss besteht, der sich so mürbe in der Magalhãesstrasse gezeigt hat. Es giebt auch Unterschiede in den Granitarten, und die eine zerfällt leichter als die andere[2]). Nördlich von der Disco-Insel beginnt eine Trappformation, und man wird auf jeder Karte (s. Fig. 66) sofort bemerken, dass sich gleich von jener Stelle an die Gestalt der Fjorde ändert. Es ist daher ihre Gegenwart oder Abwesenheit nicht an gewisse Felsarten gebunden; wohl aber stehen charakteristische Formen der Verwitterung mit ihnen in Zusammenhang, so dass also ein getreues Küstenbild uns etwas, wenn auch nur weniges, von der geognostischen Beschaffenheit der Küsten errathen lässt.

Schwerlich wird es jemandem bei unserer Musterung der Fjordgebiete entgangen sein, dass wir ihnen nur unter hohen Brei-

[1]) Journal of the R. Geogr. Society of London 1830—31, p. 155 sq. Vgl. hierzu Charles Darwin, Geologische Beobachtungen über Südamerika. Uebersetzt von J. Victor Carus. Stuttgart 1878. S. 234. So ist der 120 engl. Meilen (= 26 geogr. Meilen) lange und 2 engl. Meilen breite Beagle-Fjord zum grössten Theil vollkommen gerade; der Blick des Reisenden ist darum durch zwei Reihen von Bergen scharf begrenzt; nur am Hintergrunde schweift er hinaus in endlose Fernen.

[2]) Ueber die rasche Zersetzung des Granit bei Berührung mit Wasser vgl. Gustav Bischof, Lehrbuch der chemischen und physikalischen Geologie. 2. Aufl. Bonn 1866. Bd. III, S. 314 ff.

ten begegnen. In Europa erstrecken sie sich von dem äussersten bekannten Norden bis zur Südwestspitze Irland's oder bis höchstens lat. $51^1/_3$ °. An der Ostküste Amerika's sind sie noch scharf ausgeprägt unter gleicher Breite in Neu-Fundland, verwischter an der Südspitze von Neu-Schottland und beinahe unkenntlich am gegenüber liegenden Festlande im Staate Maine, wo sie bei lat. $43^2/_3$ ° ihre Aequatorialgrenze erreichen. An der Westküste von Nordamerika endigen sie scharf am Eingang der Juan de Fuca-Strasse unter lat. 48°, erstrecken sich aber binnenwärts, wenn man den Puget-Sund ihnen beizählt, bis lat. 47° N. In Südamerika dagegen treffen wir sie schon an der Nordspitze von Chiloë, also bei lat. $41^3/_4$ ° S. An beiden Stellen der Westküste Amerika's, im Norden wie im Süden, ist die Fjordenzone scharf begrenzt. Nicht eine einzige zertrümmerte Küstenstelle findet sich zwischen beiden Endpunkten, sondern die Uferlinien bewegen sich glatt und einförmig. Endigt der Fjordengürtel an der Westküste Europa's unter höheren Breiten als an der Ostküste Amerika's, an dieser bei geringerer Polhöhe wie in Britisch-Columbien, nähert sich an der Westküste Südamerika's wiederum die Grenze der Fjorde dem Aequator mehr als an der Westküste Nordamerika's, so wird jedermann, der mit dem Lauf der Linien gleicher Jahreswärme bekannt ist, zu dem Schlusse geführt werden, dass sich die Aequatorialgrenzen der Fjorde an den Küsten der Festlande nach denselben Gesetzen heben und senken wie die Isothermen, und in der That findet sich auch, dass die äussersten Fjorde Halt machen vor einer Jahresmittelwärme von 10° C. (8° R.). Das Mass der Jahresmittelwärme ist jedoch viel weniger entscheidend als die Mittelwärme der kältesten Monate; allein die Vertheilung der Wärme innerhalb des Jahres wird wenigstens bei den Fjorden der amerikanischen Westküste nahezu dieselbe sein wie bei denen Europa's, weil beide unter den Satzungen eines Inselklima's stehen.

Auch bemerken wir, dass die Aequatorialgrenzen der Südseefjorde zusammenfallen mit einem anderen klimatischen Abschnitte. Mühry zieht auf seiner Regenkarte der Erde die Polargrenze der Winterregenzeit fast genau, wo die Fjorde aufhören; sie fallen also in das Gebiet der Regen zu allen Jahreszeiten. Nirgends aber finden wir innerhalb der letzteren die Fjorde reicher entwickelt als da, wo die stärksten Niederschläge erfolgen. Sitcha im Territorium Aliaska, der patagonische Westrand und Norwegen gehören zu den bestgenetzten Küsten der Erde; aber auch Irland, Schottland und Island haben sich niemals über Regenmangel beklagt. Wenn die Inselwelt der sogenannten nordwestlichen Durchfahrt viel ärmer ist an Fjorden als die Westküste Grönland's, so könnte man die Schuld vielleicht auf unsere

Karten schieben. Wer die Literatur arktischer Reisen durchwandert hat, wird sich der häufigen Klagen der Schlittenfahrer erinnern, die, wenn sie über Schnee- und Eisflächen wanderten, so selten entscheiden konnten, ob sie sich auf einer gefrorenen Meeresdecke oder über Land bewegten. Vergleicht man ältere Karten jener Gebiete mit neueren, so wird man finden, dass auch die Fjorde (inlets), Strassen, Sunde und Meerengen beständig an Zahl wuchsen und die Küsten von jedem späteren Entdecker zerrütteter dargestellt wurden als von seinen Vorgängern. Aechte Fjorde liegen aber immer nur an Steilküsten; es sind Meeresschluchten, die kein Seemann und kein Schlittenfahrer übersehen wird, und so dürfen wir wohl die geringere Häufigkeit der Fjorde im Archipel der nordwestlichen Durchfahrt zum Theil der Armuth an Niederschlägen zuschreiben. Von dem dortigen Mangel an Schnee und Regen wollen wir nur ein belehrendes Beispiel anführen. Auf der Rückkehr von seiner ruhmlosen Fahrt in der Baffins-See schickte John Ross am 1. September 1818 am Eingang des Lancaster-Sundes beim Vorgebirge Byam Martin den Lieutenant Parry an's Land, der dort eine Flagge zurückliess. Im nächsten Jahre wurde sie von Fischer, einem Officier unter Edward William Parry, wieder aufgesucht, und dieser fand im Schnee die noch völlig unverwischten Fussstapfen seiner Vorgänger, so dass also in 11 Monaten weder Regen noch Schnee dort gefallen sein konnte.

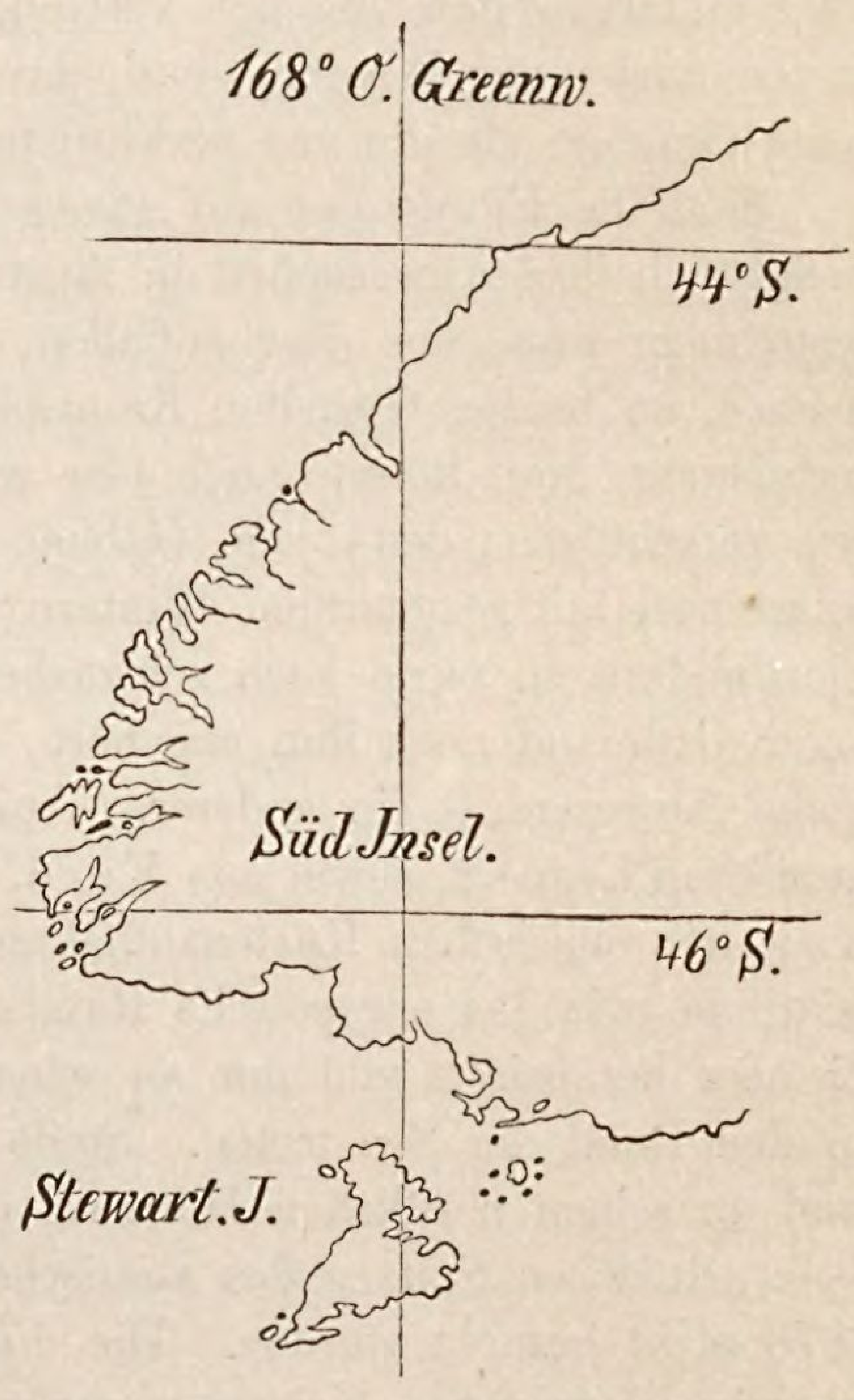
Als wir uns vor Jahren mit diesen Untersuchungen beschäftigten, beunruhigte uns stets der Gedanke, dass, wenn die Fjorde an gewisse klimatische Bedingungen und namentlich an bestimmte Isothermengürtel gebunden seien und sie ausserdem eine westliche Lage oder wenigstens eine Lage erforderten, die reichliche Niederschläge begünstige, Fjordbildungen auf der Südinsel Neuseeland's nicht fehlen dürften, da an ihrer Westküste genau dieselben klimatischen Verhältnisse wiederkehren wie unter gleichen Breiten in Patagonien. Die Karten, die uns damals zur Verfügung standen, bestätigten diese Forderung nicht, bis endlich nach Ferd. v. Hochstetter's Rückkehr genauere Bilder jener Inselgruppe in unsere Hände gelangten. Da ergab sich gleich (Fig. 69) auf den ersten Blick, dass die Westküste der Südinsel in ihren Umrissen ein grönländisches Gepräge trägt, dass die bisher vermissten senkrechten, schmalen Einschnitte in befriedigender Gestalt dort vorhanden sind und dass sie scharf an einer Küstenstelle endigen, jenseits welcher gegen Norden keine ähnliche Gliederung mehr auftritt, man müsste denn die zertrümmerte Inselwelt im Charlotte-Sund vor der Cookstrasse, wie F. v. Hochstetter es zu thun geneigt scheint, unter dieselben Erscheinungen zählen. Auch in Neuseeland gewahren wir deutlich eine Aequatorialgrenze der Fjorde, die

den 45. Breitengrad noch ein wenig überschreitet; auch dort zeigen unsere Isothermenkarten die Linie von 10° C. (8° R.) Jahresmittelwärme, und auch dort findet sich nur wenig weiter nordwärts die Aequatorialgrenze der Regen zu allen Jahreszeiten.

Damit man dies nicht missdeute, fügen wir hinzu, dass unter gleichen Vorbedingungen viel weniger Niederschläge in der Zone des Regens zu allen Jahreszeiten als in der Zone der Winterregen vorkommen. Es handelt sich aber nicht hier um die Quantitäten des Regenfalls, sondern um die klimatische Veränderung, welche die Regenvertheilung innerhalb der Jahreszeiten hervorbringt.

Wir glauben demnach zu der Annahme berechtigt zu sein, dass zwischen den fjordartigen Zerklüftungen der Küsten und gewissen klimatischen Verhältnissen ein enger Zusammenhang besteht, und zwar scheinen niedrige Temperaturen und reichliche Niederschläge zu allen Jahreszeiten ihr Auftreten wesentlich zu begünstigen.

Fig. 69.



Westküste der Südinsel Neuseeland's.

Um so strenger müssen wir prüfen, ob nicht dennoch jenseits der von uns gezogenen Aequatorialgrenzen unter geringeren Breiten sich gleiche Erscheinungen einstellen. Wenn wir die dalmatinische Küste auf einer Handkarte betrachten, so haben ihre Bruchstücke eine verdächtige Aehnlichkeit mit der Zerrüttung der Küsten an und nördlich von der Vancouver-Insel; sobald wir aber Karten in grösserem Massstabe zu Rathe ziehen, lehrt uns der erste Vergleich schon, dass wir dort Erscheinungen anderer Natur vor uns haben. Der Inselstreifen an der dalmatinischen Küste besteht aus schmalen, über das Wasser ragenden Bergrücken, die parallel mit einander streichen. Sowohl ihre Umrisse, als die der Festlandsküste verlaufen glatt und unversehrt, und vergebens suchen wir nach senkrechten Einschnitten. Die Peloponnes mit ihrer Inselschaar und ihren

vorgestreckten fingerartigen Gliedern, vom geistreichen Strabo mit einem Platanenblatt verglichen, der Dreizack der chalcidischen Halbinsel und die gegenüber liegenden Küsten Kleinasien's, sollten sie nicht wegen ihrer Umrisse den Namen eines mediterraneischen Feuerlandes verdienen? Dennoch verschwindet auch dort die magalhães'sche Physiognomie, sowie man Specialkarten befragt. Bei ächten Fjordküsten nimmt die Zahl der kleinen Küsteneinschnitte zu, je grösser der Massstab der Karte wird; in Griechenland und Kleinasien bleibt sie sich gleich, und was im gedrängten Bilde einem Fjorde glich, verwandelt sich auf dem grösseren Blatte in einen Golf. Auch belehrt uns schon Sir John Herschel, dass die Gliederung der illyrischen Halbinsel dem Bau der gegenüber liegenden kleinasiatischen Küste entspreche. Zwei Gebirgswelten, die sich vereinigen möchten oder vereinigt waren, sinken dort unter Wasser, und ihre Umrisse tragen deutlich ein anderes Gepräge als die von zerklüfteten Steilküsten.

Sind die Fjorde nur auf strengere Klimate beschränkt, so rechtfertigt sich ihre Abwesenheit in Australien, in Afrika und in Südasien; desto mehr muss uns aber auffallen, dass wir sie an der Nordküste Asien's, an beiden Gestaden Kamtschatka's und im Tschuktschenlande vermissen. Man könnte auch hier wieder die Armuth an Niederschlägen vorschützen; denn jene Gebiete gehören in Mühry's „Circumpolargürtel mit regenarmen Wintern"; da aber auch in diesem Gürtel Fjordbildungen, wenn auch schwächerer Art, nicht gänzlich fehlen, ja sogar Grönland noch ihm angehört, so ist der Grund für ihre asiatische Abwesenheit ein anderer. Aus der Geschichte der Fahrten im russischen Eismeer, sowie aus Ferd. v. Wrangell's und Lieutenant Anjou's sibirischen Küstenaufnahmen ergiebt sich überall, dass das asiatische wie das europäische Russland zu flachen Gestaden nach dem Eismeer herabsinkt und nur an selteneren Stellen niedere Klippen bis an den Rand der See treten. Steile Küsten besitzt nur das Taimyrland an seinen nördlichen Hörnern, dem Taimyr- und Tscheljuskincap. Jene arktischen Spitzen des asiatischen Continents sind von 1743 bis 1878 nicht besucht worden. Die 1743 von Laptew und Tscheljuskin entworfenen Karten waren zu wenig zuverlässig, als dass sie die Frage nach der dortigen Fjordbildung hätten entscheiden können; doch zeigen auch die neueren Aufnahmen jener Küsten durch Nordenskiöld im Herbste des Jahres 1878 keine Fjorde[1]). Es wird uns also hier eine neue Bedingung ihres Auftretens fühlbar, nämlich dass sie an Steilküsten gebunden sind. Wo wir sie antreffen, dürfen wir schon aus den Umrissen schliessen, dass sich die Küsten jäh aus dem Meer erheben und dass je steiler, desto energischer bei gleichen

[1]) Petermann's Mittheilungen 1879, Taf. II.

Bedingungen die Fjordbildung erfolgt. Durch die Steilheit ihrer Küsten zeichnen sich aus: Spitzbergen, Norwegen, Schottland, zum Theil auch Irland, die Nord- und Westküste Island's, die Ost- und Westküste Grönland's, die Inselwelt der nordwestlichen Durchfahrt, die Küsten des Territoriums Aliaska und Britisch-Columbien's, die Westküste Patagonien's und die Westküste der Südinsel Neuseeland's. Fjorde sind also nur den Steilküsten eigen; aber sowohl in Neuseeland als auch im Süden der Juan de Fuca-Strasse und im Norden von Chiloë bleiben die Küsten auch jenseits der Aequatorialgrenze der Fjorde noch steil, ein Beweis, dass zum Küstencharakter sich auch noch bestimmte meteorologische Verhältnisse gesellen müssen, wenn jene Zerrüttung eintreten soll.

Jede Zeit hat sich mit wissenschaftlichen Lieblingsstreitfragen beschäftigt, die wie die Moden wechselten. Die Modeliebhaberei unserer Tage sind die Gletscher der Gegenwart und der Vorzeit. Für viele ist es nur eine Mode, für die Ernsteren ein reif werdendes Problem der modernen Geologie. Wenn wir aber bei den Fjorden zunächst an Gletscher- und Eiszeiten denken, so ist daran die Mode nicht schuld, sondern ihre räumliche Vertheilung auf der Erdoberfläche.

Wirklich fehlen auch den Fjordbildungen nirgends die Eismassen; denn entweder sind sie noch gegenwärtig die Rinnsale von Gletschern, oder wir treffen Gletscher in ihrer Nähe, oder wo sie in der historischen Zeit fehlen, begegnen wir ihnen in der nächsten geologischen Vergangenheit. So ist Grönland ein vergletschertes Hochland, und seine Fjorde sind Gefässe, durch die sich die Gletscher ergiessen, deren Endstücke alljährlich abbrechen, um dann als Eisberge zunächst in der Baffins-See und der Davisstrasse zu schwärmen und zuletzt in's Atlantische Meer hinabgetragen zu werden, wo sie, am westlichen Gestade des Golfstromes aufgehalten, in der Nähe der Neufundlandbänke zusammenschmelzen. Dieselbe Erscheinung haben wir in Norwegen, das, wie schon Wahlenberg erkannte, allein Gletscher erzeugt, während sie in dem an Niederschlägen armen Schweden fehlen. Die norwegischen Fjorde sind übrigens reich an Zeugnissen dafür, dass die Gletscher hier ehemals gigantische Dimensionen besessen haben. So erwähnt Sexe Gletscherschliffe an den Felsufern des Sörfjordes in Hardanger, welche sich bis zu einer Höhe von 480 Metern über den Meeresspiegel erheben, und Keilhau sah im Aurlandsfjord (Seitenarm des Sognefjords) hoch oben an den Felsen Frictionsstreifen, welche ihn zu der Annahme führten, dass ehemals der ganze Fjord von Gletschermassen erfüllt war. Aehnliche Beobachtungen liegen auch für andere skandinavische Fjorde vor [1]). Nun sind die dortigen

[1]) A. Helland in Poggendorff's Annalen, Bd. CXLVI (1872), S. 540 ff.

Küsten seit jener Zeit allerdings mehr und mehr aus dem Schosse des Oceans emporgestiegen und mit ihnen zugleich jene Spuren einer ehemaligen Gletscherthätigkeit. Dennoch bleiben die genannten Zeichen Inschriften, die uns keinen Augenblick über die bedeutendere Gletscherbildung in früheren Perioden im Zweifel lassen. Ferner finden wir mächtige Gletscher auf Spitzbergen und Island. Wo sie aber heutigen Tages vermisst werden, wie in Schottland, hat man doch ihre ehemalige Anwesenheit in Felsenschliffen und Steinritzungen entdeckt. Sie fehlen nicht auf der Südinsel Neuseeland's, an deren Westseite sich das untere Ende des Franz-Joseph-Gletschers dem Meeresniveau bis zu einem Verticalabstand von 230 Metern nähert, und sie reichen in der Magalhãesstrasse bis in das Meer hinab. Nach Darwin sind Missionäre an der Fjordküste des westlichen Patagonien Eisbergen selbst noch in der Laguna de S. Raphael lat. 46° 33' S. begegnet. Ferner weisen die pacifischen Abhänge Nordamerika's am Mount Rainier im Territorium Washington und am Mount Hood in Oregon [1]) weit ausgedehnte Spuren ehemaliger Gletscherthätigkeit, sowie kleinere Gletscher auf, und diese dürften demnach auch an der Küste von Britisch-Columbien und des Territoriums Aliaska vorkommen; dies ist um so wahrscheinlicher, als wir am Ostabhange der Felsengebirge sowohl lebendige Gletscher, als auch Spuren einer früheren sogenannten Eiszeit sammt grossen Geröll- und Geschiebebildungen (drift formations) treffen. Die letzteren fehlen, wie Sir Charles Lyell erkannt hat, völlig unter den Tropen, daher sie wie die Fjorde unter die klimatischen Erscheinungen zu zählen sind, was auch von den Wanderblöcken gilt, die, wie Darwin bemerkt, auf der südlichen Halbkugel den 41. Breitengrad nirgends überschreiten konnteu. Sind die Fjorde aber die leeren Gehäuse ehemaliger Eisströme, so helfen sie uns eine Erscheinung erklären, die zu enträthseln bisher dem geologischen Scharfsinn nicht völlig gelang.

Durch unsere Vergleiche sind wir bis jetzt zu der Erkenntniss gelangt, dass die Fjorde und fjordähnlichen Küsteneinschnitte nur höheren Breiten angehören. Es liegt demnach sehr nahe, die Zertrümmerung der hohen felsigen Gestade in erster Linie auf die zerstörenden Einflüsse des gefrierenden Wassers zurückzuführen und, da auf dem Schauplatz der Fjorde entweder noch heutigen Tages Gletscher sich bewegen oder wenigstens in früheren Zeiträumen sich bewegt haben, die engen Spalten als Ausfeilungen von Gletschern zu betrachten. Namentlich sind es Ramsay, Tyndall und Helland, welche diese Anschauung vertreten.

[1]) Petermann's Mittheilungen 1871, S. 248—254.

Ramsay geht davon aus, dass man die Bildung der meisten Seebecken (insbesondere die der Alpen) auf keinem Wege besser erklären könne als durch die Annahme, dass einst Gletscher über sie hinwegzogen und sie ausfurchten. So wurde der Genfersee nach Ramsay durch den Druck des mächtigen Rhônegletschers ausgehöhlt; ebenso entstanden der Neuenburger und der Bieler See, sowie der Comer See. In der grossen Tiefe dieser Seen erblickt er einen Ausdruck für die Länge der Zeit und die Grösse der senkrecht wirkenden, zermalmenden Kraft und findet seine Theorie durch die Thatsache bestätigt, dass ein überraschender Seenreichthum alle diejenigen Länder auszeichnet, welche Spuren einer ehemals weit ausgedehnten Gletscherbedeckung an sich tragen, z. B. Norwegen, Schweden, Finnland, Schottland, die Schweiz, sowie die nördlichen Theile von Nordamerika. Demgemäss sind ihm auch die Fjorde Thäler, welche zwar von Anfang an gegeben waren, aber durch die thalabwärts schreitenden Gletscher ausserordentlich vertieft worden sind.

Noch grössere Erfolge schreibt Tyndall der Gletscherthätigkeit zu. Nach der Lehre Tyndall's schleift der Gletscher das Gestein nicht bloss ab, sondern vermag auch, da die Felsen keine fest geschlossene homogene Masse sind, sondern vielfach von Rissen durchsetzt werden, grössere Stücke abzulösen, sie förmlich zu entwurzeln. Die Anhänger dieser Hypothese weisen auf die enormen Schuttmassen hin, welche Gletscher und Gletscherbäche thalabwärts bewegen; die scharfkantige Form der Fragmente nöthigt ja zu der Annahme, dass sie durch die Kraft des gefrierenden Wassers vom Fels losgesprengt sind. Nach Kämtz' Berechnung würde man aus den über Finnland und Estland verstreuten Gesteinstrümmern dem skandinavischen Hochland ein Gebirgsstück von 325 Meter Höhe auflegen können, selbst unter der Bedingung, dass nur die Hälfte jener erratischen Blöcke aus Schweden und Norwegen stammt [1]).

Es gilt nun zu prüfen, in wieweit die Ramsay'sche und Tyndall'sche Anschauung über die Entstehung der Fjorde mit den sonst beobachteten Thatsachen übereinstimmt oder nicht.

Eine beschränkte Erosionswirkung der Gletscher wird wohl niemand leugnen wollen; sie erhält in den Frictionsstreifen einen zu unzweideutigen Ausdruck, als dass man sie bezweifeln könnte. Auf der anderen Seite aber regen sich sofort manigfache Bedenken gegen die thalbildende Kraft der Eisströme. Zunächst sind unter einer Eisdecke alle diejenigen Factoren ausserordentlich geschwächt, welche bei dem Verwitterungsprocess in erster Linie von Bedeutung sind: nämlich

[1]) Mittheilungen der k. k. geogr. Gesellschaft in Wien 1858, S. 242.

Temperaturwechsel mit folgendem Wechsel von Ausdehnung und Zusammenziehung besonders durch zeitweilige Eisbildung, Oxydation mit Volumenveränderung und Lockerung des Gefüges, Auslaugung durch Wasser und Kohlensäure, Einwirkung der Vegetation [1]; es kann also nur die mechanische Arbeit des sich fortbewegenden Gletschereises hierbei in Betracht kommen. Nun haben aber schweizerische und italienische Geologen, welche bei Gelegenheit der Zusammenkunft der helvetischen Naturforscher-Gesellschaft im Jahre 1863 von Samaden (Engadin) aus einen Ausflug nach dem benachbarten Morteratsch-Gletscher unternahmen, klar erkannt, dass ein Gletscher nicht bloss über festen Fels, sondern sogar über lose Geröllschichten hinwegschreitet, ohne in diese einzuschneiden; vielmehr planirt und nivellirt er dieselben nur. Der Gletscher verrichtet also nicht die Dienste eines Pfluges, sondern die einer riesigen Chaussée-Walze und schafft so jene flachen Thalgründe, welche man in der Schweiz häufig „Boden" nennt [2].

Der bedeutende Gletscherkenner E. Whymper, der kühne Besteiger des Matterhorns, fand im Aostathale, das ehemals von einem mächtigen Gletscher erfüllt war, in Verbindung mit den schönsten Gletscherschliffen zahlreiche kleine, scharfkantige Flächen, welche unzweifelhaft der Leeseite der kleinen Beulen und Höcker angehörten, über die sich der Gletscher einst seinen Weg bahnte. Allem Anschein nach sind sie vom Eise nie oder doch so zart berührt worden, dass sich die Spuren später verwischt haben [3]. Hieraus aber ergiebt sich unmittelbar, dass die Gletscher nichts zur Vertiefung des Thales beigetragen haben.

Wie gering die aushöhlende Kraft eines Gletschers ist, geht ferner daraus hervor, dass sich sowohl in Thälern wie in grossen Seen oft mitten im Hauptwege eines früheren Gletschers inselförmige Felspartien behauptet haben. Es sei hier nur an die Bergmasse bei Montalto im Aosta-Thal erinnert, sowie an die Höhen, auf denen die Schlösser von Sion stehen. Diese halsstarrigen Klippen waren einst der vollen Gewalt der Gletscher ausgesetzt; sie trotzten derselben nicht nur mit Erfolg, sondern zwangen auch die Eisströme sich zu spalten, worauf diese neben oder über ihnen weiterflossen.

[1] Alex. Müller: „Ueber Thalbildung durch Gletscher" in Poggendorff's Annalen, Bd. CLII (1874), S. 480.

[2] Th. Kjerulf, Die Eiszeit (Heft 293 und 294 aus der Sammlung wissenschaftl. Vortr., herausgeg. von Virchow und v. Holtzendorff). Berlin 1878. S. 63 f.

[3] Edward Whymper, Berg- und Gletscherfahrten in den Alpen. Braunschweig 1872. S. 391 ff.

Ferner hat das Eis selbst an Tausenden von Stellen Zeichen in den Stein gegraben, welche dem denkenden Beobachter das unzweideutigste Zeugniss liefern, dass die erodirende Kraft des Eises eine äusserst geringe ist. An der Oberfläche der Gebirge trifft man nämlich vielfach an einer und derselben Stelle mehrere Gruppen oder Systeme von Scheuerstreifen, welche einen grösseren oder kleineren Winkel mit einander bilden; ihnen entsprechend sind natürlich auch Steine und Blöcke verschleppt; in beiden Richtungen verlaufen Thal und Einschnitt. Da eine solche Durchkreuzung der Streifen von zahlreichen Forschern in den verschiedensten Gegenden Nord- und Mitteleuropa's, sowie Nordamerika's erkannt worden ist und da man ferner an solchen Stellen diese Scheuerstreifen in jeder Art von Lage trifft, sowohl hoch wie tief, sowohl da, wo ein Maximum, als auch da, wo ein Minimum der Kraftwirkung angenommen werden kann, so dürfte es wohl kaum zweifelhaft sein, dass hier die Eisbewegung zu verschiedenen Zeiten eine verschiedene Richtung eingeschlagen hat. Auch ist man nicht berechtigt zu sagen, dass die jüngere Eisströmung nur von sehr kurzer Dauer war; denn in der Gegend von Galway, bei Killary Harbour in Irland, lassen sich, wie Kinnahan [1]) zeigt, die zwei Systeme auf einer Breitenerstreckung von 1 engl. Meile ungefähr 1 ½ engl. Meilen und an der Cashla-Bucht bei 2 engl. Meilen Breite etwa 3 engl. Meilen weit verfolgen. Eine so weit ausgedehnte Gletscherentwicklung, welche so reiche Spuren hinterliess, ist sicher keine rasch vorübergehende gewesen. Wenn sie trotzdem nicht im Stande war, die Züge der ersten Gletscherbewegung zu verlöschen, so ergiebt sich hieraus, dass die aushöhlende Kraft der Gletscher nicht von derjenigen Bedeutung ist, welche man ihr von anderer Seite mit Vorliebe zuschreibt [2]).

Uebrigens erzeugt der Gletscher selbst auf seinem Bette eine Schicht, welche dieses gegen die erodirende Kraft des Gletschers schützt. Das Geröll nämlich, mit welchem sein Rücken belastet ist, fällt durch die zahlreichen Spalten auf den Grund hinab und keilt sich so zwischen dem Eise und dem Felsbett ein. Noch mehr Moränenstoffe stürzen jedoch über das vordere Ende des Eisstromes hinweg und bilden so eine Schicht, über welche das Eis seinen Weg nehmen muss. Bevor diese vom Gletscher selbst geschaffene Schicht nicht von ihm wieder zermalmt ist, erleidet das Felsenbett desselben keinerlei Angriffe. Der mächtige Gletscher des Aosta-Thales vermochte, wie uns Whymper berichtet, nicht einmal losen, auf der

[1]) Kinnahan, The general Glaciation of Jar-Connaught. Dublin 1872.
[2]) Th. Kjerulf, l. c. S. 74 ff.

Oberfläche des Bettes liegenden Flusskies zu entfernen; noch viel weniger konnte er natürlich den unten anstehenden soliden Fels ausfurchen, zumal der Gletscher ununterbrochen auf dem Kiese noch eine neue Geröllschicht ablagerte, welche ebenfalls zum Schutze seiner felsigen Grundlage diente [1]).

Am allerwenigsten können wir Tyndall beistimmen, wenn er behauptet, dass die alten Gletscher vermöge ihrer Grösse und des ungeheuren Druckes, welchen sie auf ihre Grundfläche ausübten, im Stande waren, Felsen in Massen zu „entwurzeln". Wäre dies richtig, so würden sicher eckige, scharfkantige Bruchflächen in allen denjenigen Thälern Zeugniss hierfür ablegen, welche ehemals die Wirkungsstätte grosser Gletscher waren. Nun beobachten wir aber gerade das Gegentheil, dass nämlich die Felsen, über welche die Gletscher einst hinweggezogen, abgeschliffen, in ihren Umrissen ganz monoton und nahezu von allen Ecken frei sind. Hiermit fällt aber Tyndall's Annahme. In Hinsicht auf die Physiognomie der durch Gletscher ausgefurchten Thäler bemerkt darum Whymper mit Recht: „Wenn die Gletscher die Felsen einfach abkratzen und diese Thätigkeit eine lange Zeit fortsetzen, so ist es keine Vermuthung, sondern eine mathematische Gewissheit, dass sie Vertiefungen oder Einsenkungen hervorbringen müssen [2]). Denkt man an eine Ewigkeit, so können Gletscher sogar Thäler einer besonderen Art ausschleifen. Diese würden aber mit den Alpenthälern (und ebenso mit den Fjorden und den Thälern an ihrem oberen Ende) gar keine Aehnlichkeit haben. Sie wären vielleicht interessant, aber abscheulich prosaisch. Die Nägelschuhe der Bergsteiger wären in ihnen nutzlos; in Filzstiefeln oder auf Schlittschuhen müsste man sie bereisen [3])".

Die Anhänger der Ausfurchungstheorie weisen zur Begründung derselben auf die Schuttmassen hin, welche die Gletscher abwärts führen; doch gehen sie sicher zu weit, wenn sie deren Entstehung auch nur zum grössten Theil dem Kratzen und Auspflügen des Gletschers selbst zuschreiben. Die fast durchgängig eckige Gestalt der Stoffe, aus welchen die alten wie die neueren Moränen gebildet sind, ist ein sicherer Beleg dafür, dass dieselben zum grössten Theil von oben her auf die Gletscher gefallen und nicht auf der Sohle desselben weiter bewegt worden sind. Wäre dies geschehen, so würde ihre Form abgerundet, ihre Oberfläche gekritzelt worden sein, wie dies

[1]) E. Whymper, l. c. S. 415.

[2]) Vgl. hierzu auch Hayes, The open Polar Sea. London 1867. p. 403. Sir Charles Lyell, Principles of Geology. 12th ed. 1875. Vol. I, p. 370.

[3]) E. Whymper, l. c. S. 401 f.

von allen denjenigen Gesteinsstücken gilt, welche auf dem Grunde des Gletschers liegen.

Die ansehnlichen Tiefen der Fjorde, deren unterseeische Grundfläche häufig bis 100 Meter, an der Westküste Skandinavien's in einem Falle sogar 346 Meter unter den Meeresspiegel hinab sinkt, bereiten den Anhängern der Erosionstheorie scheinbar keine Schwierigkeiten; sie helfen sich hier mit der Annahme: die Gletscher können auch unter dem Meere scheuern, wenn sie mächtig genug sind. Da sich nun das Gewicht des Eises zu dem des Wassers wie 0,92 zu 1 verhält, so ist bei Berechnung des Druckes eines in einen Fjord sich ergiessenden Eisstromes nicht bloss die unter dem Meeresniveau liegende Eismasse, sondern auch ein Theil der über dasselbe aufragenden Masse in Abzug zu bringen. Welche Mächtigkeit man nun den alten Gletschern beimessen müsste, um ihnen einen zermalmenden Druck zuerkennen zu können, zeigt folgende von dem Bergingenieur Gurlt ausgeführte Berechnung. Eine 650 Meter dicke Eisschicht übt auf ihre Unterlage einen gleichen Druck aus wie eine Wassersäule von c. 585 Meter Höhe (= 55 Atmosphären), d. h. einen Druck von 825 Pfund auf den Quadratzoll. Nun ergiebt sich aber aus einer gewöhnlichen Ingenieur-Tabelle, dass einfacher Ziegelstein 1200 bis 2000, und die gewöhnlichsten Felsarten viel mehr, nämlich Granit 6000 bis 9000, Basalt 20 000, Kalkstein 4000 bis 6000, Sandstein 3000 bis 12 000 Pfund auf den Quadratzoll aushalten können. Um die Zertrümmerung einer granitischen Grundfläche zu erklären, müsste man demnach Gletschermassen voraussetzen, welche sich nahezu in Montblanchöhen über einander aufthürmten.

In der That haben die Neu-Glacialisten sich nicht gescheut, derartige Höhen für einzelne Gletscher zu fordern, wie denn Agassiz im Jahre 1867 die Behauptung aussprach, dass in Maine der Eismantel gegen 4000 Meter dick gewesen sein müsse. Ueber diese phantastischen Zahlenwerthe hat Mallet treffend geäussert, die Mächtigkeit und das Gewicht des Eises könne jedenfalls nur so gross gewesen sein, dass letzteres sich nicht selbst zertrümmerte oder durch den Druck in Wasser überging. Mit jenen ungeheuren Werthen aber ist diese Grenze wahrscheinlich längst überschritten [1]).

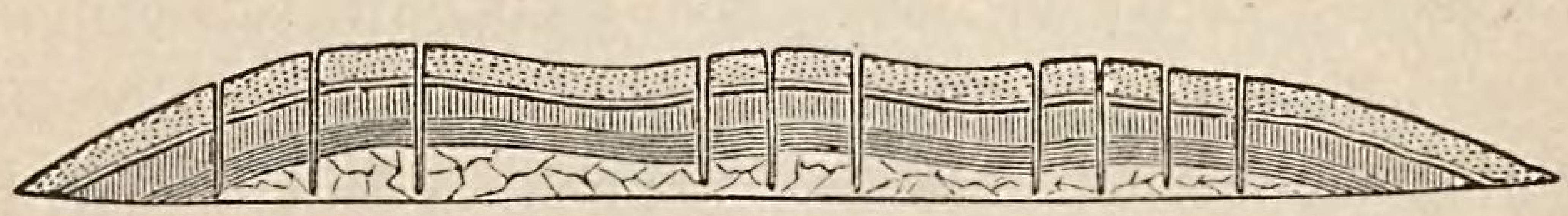
Endlich lässt uns auch eine schärfere Untersuchung der Fjorde auf einer guten Specialkarte gewahren, dass sie Merkmale an sich tragen, welche einen Ursprung durch Erosion ausschliessen. Bei den grönländischen Fjorden nämlich, sowie auch bei verschiedenen skandinavischen und neuseeländischen bemerken wir die Neigung, sich gabel-

[1]) Th. Kjerulf, l. c. S. 65.

förmig zu theilen, gleichsam ein Delta oder ein χ zu bilden, während doch alle Flussthäler mit ausserordentlich seltenen und dann nicht regelrechten Ausnahmen immer, wo sie sich vereinigen, ein Y bilden. Der Gedanke an eine Ausfeilung durch Gletscher wäre daher noch zulässig bei dem Lysefjord (s. Fig. 71 auf S. 481), nicht aber bei Fjorden, wie wir sie an der Westseite von Grönland unmittelbar nördlich und südlich vom Polarkreis (vgl. Fig. 66 auf S. 462) finden, wie überhaupt bei allen jenen Küsteneinschnitten, deren Ausmündung durch eine dreieckige Insel gefüllt ist. Solche Gestalten lehren uns vielmehr selbst, dass die Zertrümmerung und Zersplitterung der Küste mit ihrem Aufsteigen verknüpft war.

Wo immer Land gehoben wird, sei es durch eine emporwachsende Gebirgskette, sei es längs einer aufsteigenden Steilküste, die ihre Schichtenköpfe dem Meere zukehrt: stets werden die ursprünglich wagerechten Schichten des Aufsteigenden gebogen werden müssen. Sowie die Spannung nur ein sehr geringes Mass überschreitet, müssen Querrisse in den Schichten entstehen, und die Geologie spricht dann von aufgesprengten Gewölben (s. Fig. 70). Hierdurch erklären sich

Fig. 70.



Ideale Frontansicht einer Steilküste, die ihre Schichtenköpfe dem Meere zukehrt mit Rissen in dem aufgesprengten Gewölbebau der Schichten.

auch die gemeinsamen Züge der Fjordbildungen, namentlich der wunderbare Parallelismus, den sie oft innerhalb weiter Gebiete streng innehalten. Wenn Helland zur Stütze der Erosionstheorie geltend macht, dass kein Thal oder Fjord quer durch das Langfjeld oder durch das Dovrefjeld hindurchsetzt, sondern von hier aus nur viele Thäler nach Osten, viele Thäler und Fjorde nach Westen gehen [1]), so möchten wir hiergegen einwenden, dass bereits Leop. v. Buch in dem Lesjö-Thale (Lesjö liegt 2 Meilen nordwestlich von Dovre) einen tiefen Spalt erkannte, welcher ein Stück Skandinavien's quer abbricht, so dass auf der Stromscheide dieses Thales aus einem Weiher, dem Lessöevärks Vand (etwas über 700 Meter hoch), die Wasser sowohl nach Süd, wie nach Nord abfliessen [2]). Uebrigens legen wir auf diese Thatsache, so hohes Interesse sie auch beansprucht, hier nicht allzugrosses Gewicht,

[1]) Poggendorff's Annalen, Bd. CXLVI (1872), S. 548 f.

[2]) Leopold v. Buch, Reise durch Norwegen und Lappland. Berlin 1810. Bd. I, S. 195 f.

da mit dem Bruche der Ränder nicht auch ein genau damit übereinstimmendes Brechen der centralen Partien eines so umfangreichen Felsenkörpers gefordert werden kann. Wo Fjorde auf isolirten, kleineren Länderräumen auftreten, sind übrigens geradlinige Durchbrüche von einem Ufer zum anderen ziemlich häufig, so auf Schottland (der Caledonische Canal), den Hebriden, den Shetland-Inseln und Fär-Öern. Ursprünglich war die Zerspaltung nichts weiter als ein Aufsprengen der Schichten, die in Folge der Hebung sich wölbten; sie mochte sich aber später erweitern durch ein Zusammenschrumpfen in Folge einer Massenverminderung, die nicht ausbleiben kann, wenn die Felsarten krystallinisch werden.

Welche Bedeutung haben nun die Gletscher für die Fjorde? Bei ihrer Entstehung haben sie, wie wir oben sahen, jedenfalls in keiner Weise mitgewirkt; doch gebührt ihnen das Verdienst, jene herrlichen Wasserstrassen vor einer frühen Vernichtung gerettet zu haben. Wurden nämlich zur Zeit der Ffordbildung die Spalten rasch ausgefüllt mit Gletschern, so haben diese zu ihrer Erhaltung beigetragen, indem sie das Ausfüllen der Sunde durch Verwitterungsschutt, sowie die sanftere Böschung der Felswände verzögerten. Mit Recht hat daher Élisée Reclus [1]) in der klimatischen Verbreitung der Fjorde das Zeugniss einer vormaligen, jetzt im Rückzug begriffenen Eiszeit erblickt. Die Fjorde fehlen daher in wärmeren Ländern nur deswegen, weil sie dort, kaum entstanden, rasch wieder durch Trümmer verschüttet wurden. Nun erkennen wir auch, warum an den Westküsten Skandinavien's, Schottland's und Irland's die Fjorde in überaus grosser Anzahl vorkommen, während sie an den Ostküsten dieser Länder völlig vermisst werden. An den regenreicheren Westküsten war die Gletscherentwicklung stets in hohem Grade begünstigt; hier wurden daher die alten Küsteneinschnitte viel länger mit Eis erfüllt. An den relativ regenarmen Ostküsten hingegen erlangten die Gletscher niemals eine so hohe Wichtigkeit und wurden viel früher verscheucht; darum gelang es hier den Flüssen weit eher, die alten Spalten auszuschütten. Aehnliche Gründe müssen wir annehmen, um die Fjordlosigkeit an der Süd- und Südostseite Island's zu erklären. Zwar erheben sich auch hier hohe, mit ewigem Schnee gekrönte und mit Gletschern ausgestattete Gebirge; doch breiten sich vor ihnen niedere, flache, meist aus Sandmassen bestehende Strecken aus; hier schritt also der Aufschüttungsprocess — vielleicht unterstützt durch das Vorhandensein reicher Mengen von losem vulcanischem Schutt — am raschesten vorwärts. Für

[1]) La Terre. Paris 1869. Tome II, p. 173 sq.

Island hat übrigens Kjerulf nachgewiesen [1]), dass die wichtigsten in den Fjordrichtungen hervortretenden Linien mit den grossen Systemen ausgefüllter Gangspalten zusammenfallen; die Hauptrichtungen beider sind nämlich N—S, WNW—OSO, NO—SW. Offenbar haben hier mächtige Kräfte auf langen Spalten gewirkt.

Ueberall, wo sich die Gletscher aus den Fjorden zurückgezogen haben, arbeiten die Flüsse unausgesetzt an der Fjordausfüllung und Küstenabrundung. Der Erfolg, mit welchem sie diese Thätigkeit betreiben, hängt vor allem von der Grösse und Tiefe der Fjorde, sowie von der Menge der schwebenden Bestandtheile ab, welche die Flüsse mit herabbringen. Liegen, wie dies in Norwegen so häufig der Fall ist, kleine Seen am oberen Ende der Fjorde, durch welche die Flüsse ihren Weg nehmen, bevor sie sich in die Fjorde ergiessen, so sind die letzteren in vorzüglicher Weise so lange gegen ihre Ausfüllung geschützt, als jene Seen existiren, da diese stets Läuterungsbecken für die Flüsse sind. Doch ist auch in vielen norwegischen Fjorden bereits ein Wachsthum des Schwemmlandes am Binnenende der Fjorde zu bemerken; würde man den jährlichen Zuwachs der Strandfläche kennen, so wäre es möglich, die Zeit annähernd festzustellen, innerhalb welcher dieser oder jener Fjord gänzlich ausgefüllt werden müsste. An anderen Stellen beobachten wir übrigens (namentlich gilt dies von einigen Fjorden an der Südostseite von Island), dass sich Fjorde ebensowohl durch Flussanschwemmungen an ihrem oberen, wie durch Meeresanschwemmungen an ihrem unteren Theile verengen [2]). Dieser Umstand aber führt uns auf die eigenthümlichen Tiefenverhältnisse der Fjorde.

Bei allen Fjorden zeigt sich nämlich, dass an ihrem Ausgange der Boden viel seichter ist als im Hintergrunde. Beim Eingang in den Christtag-Sund des Feuerlandes fand Capitain Cook Grund schon bei 37 Faden (= 68 Meter), tiefer in der Strasse erst bei 64 Faden (=117 Meter) und zuletzt gar keinen mit 160 Faden (=293 Meter). Der ostgrönländische Franz-Joseph-Fjord, der an seiner Schwelle ebenfalls relativ seicht ist, erreicht im Innern sogar eine Tiefe von über 500 Faden (mehr als 900 Meter) [3]). Der so früh verstorbene Otto Lübbert hat uns aufmerksam gemacht, dass die norwegischen Fjorde im Hintergrunde tiefer zu sein pflegen als an ihrer Mündung, dass sich also nach ihrem Ausgange zu der Boden hebt, während man häufig wieder zwischen den Fjorden und den aussen liegenden Inseln

[1]) Island's Vulcanlinien in der Zeitschrift der deutschen geolog. Gesellschaft. Bd. XXVIII (1876), S. 203—216.

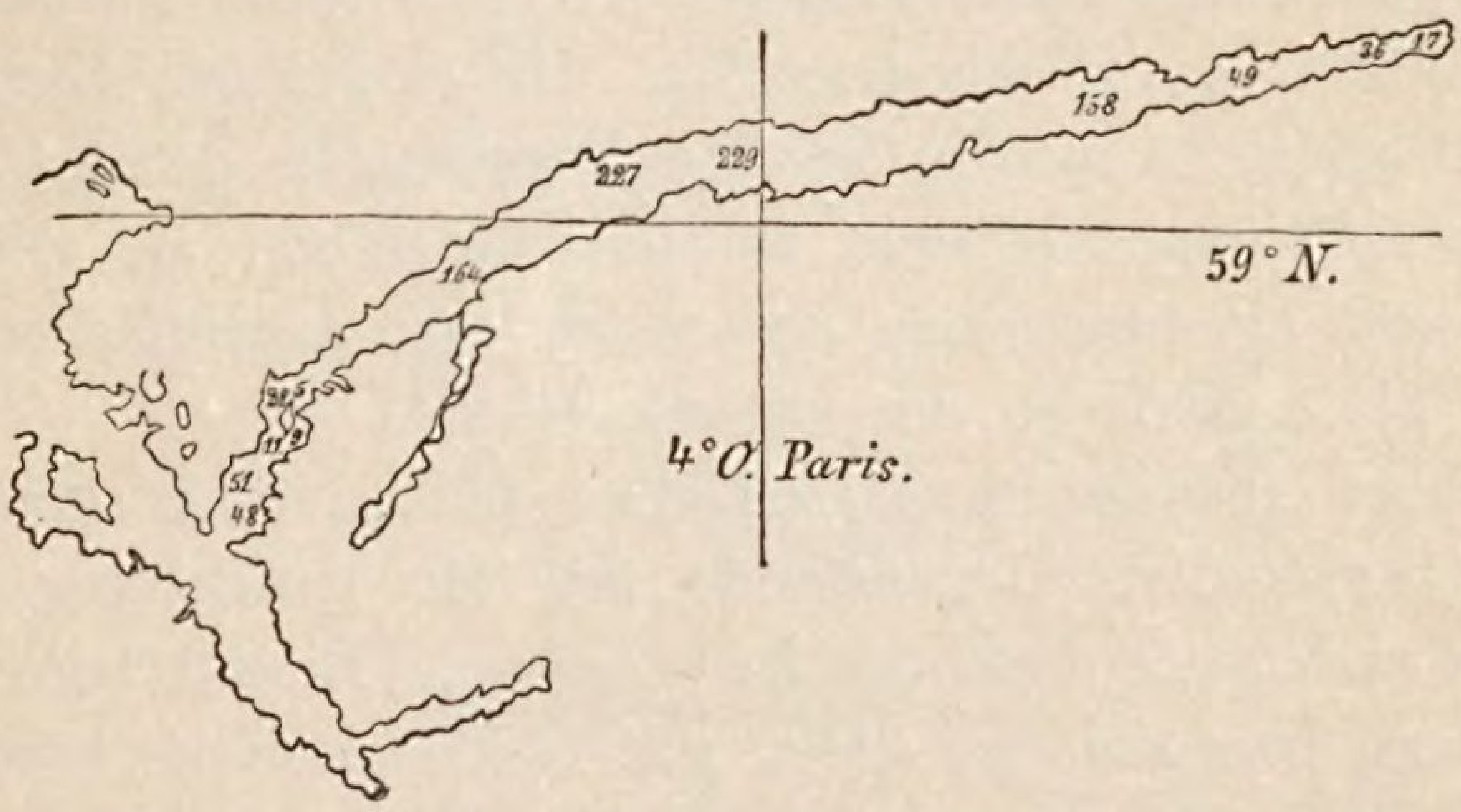
[2]) Élisée Reclus, La Terre. Paris 1869. Tome II, p. 179 und Fig. 53.

[3]) Die zweite deutsche Nordpolarfahrt in den Jahren 1869 und 1870. Leipzig 1874. Bd. I, Abth. II, S. 664.

auf grössere Tiefen stösst. Dass sich der Boden nach ihrem Ausgange zu hebt, gewahren wir an dem Lyse-Fjord, dem schärfsten, tiefsten und regelmässigsten Einschnitt der norwegischen Küste (s. Fig. 71).

Helland erläutert diese Erscheinung vom Standpunkte der glacialen Bildung der Fjorde in folgender Weise [1]: Die Zuflüsse der Gletscher von den Gebirgen nehmen gegen den Ausgang der Fjorde hin ab; das Wasser hat grosse Mengen von Eis verzehrt; mithin verringerte sich hier auch früher die Mächtigkeit und somit die erodirende Kraft der Gletscher. Ferner scheinen die quer über verschiedene Fjorde (den Sogne-, Christiania-, Drammensfjord u. a.) sich erstreckenden Moränen darauf hinzuweisen, dass der innere Theil der Fjorde während einer längeren Zeit von den Gletschern gescheuert worden ist. Wir bemerken hiergegen nur, dass in einer trogförmigen Einsenkung, wie sie nach Helland durch die Gletscher geschaffen worden sein soll, in der Tiefe gar bald Unbeweglichkeit eintreten muss, worauf der obere, noch bewegliche Theil des Gletschers über den

Fig. 71.



Der Lysefjord in Norwegen, nach Lieut. Schie in Petermann's Ergänzungsheften Nr. 1. Die Tiefen sind angegeben in norwegischen Faden (1 norwegischer Faden = 1,77 Meter).

unteren, ruhenden hinwegschreitet, somit den Grund nicht weiter erodiren kann, da er ihn gar nicht berührt. Kleine Tiefendifferenzen liessen sich auf diese Weise allenfalls noch erklären, niemals aber so grosse, wie sie thatsächlich beobachtet werden. Uebrigens steht und fällt ja diese Anschauung mit der Glacialtheorie.

Reclus vermuthet, dass das Seichterwerden an den Ausgängen von dem Schutte alter Endmoränen herrühre. Hie und da mag dieses Moment mit in Betracht kommen; doch müssten wir es als ein seltenes Spiel des Zufalls ansehen, wenn die Gletscher immer gerade bis dahin

[1] Poggendorff's Annalen, Bd. CXLVI (1872), S. 557.

gereicht hätten, wo die Fjorde endigen. Gelangten aber die Gletscher dorthin, so wurde die Eiszunge wohl meist von den Fluthen des Meeres abgebrochen und weit hinweg geführt; mithin konnte in solchem Falle nur wenig Gletscherschutt an der Ausgangspforte der Fjorde zu Boden sinken. Uebrigens wissen wir von mehreren Fjorden, dass sich die Gletscher, von denen sie ehemals erfüllt waren, allmählich zurückzogen; zum Zeichen hierfür hinterliessen sie da, wo ihr unteres Ende längere Zeit rastete, Endmoränen; wir finden diese demnach auch, wie bereits oben erwähnt, mitten in den Fjorden. So erscheint uns das äussere Ende der Fjorde nicht mehr für die Ansammlung von Moränenmaterial begünstigt als jeder Punkt innerhalb derselben.

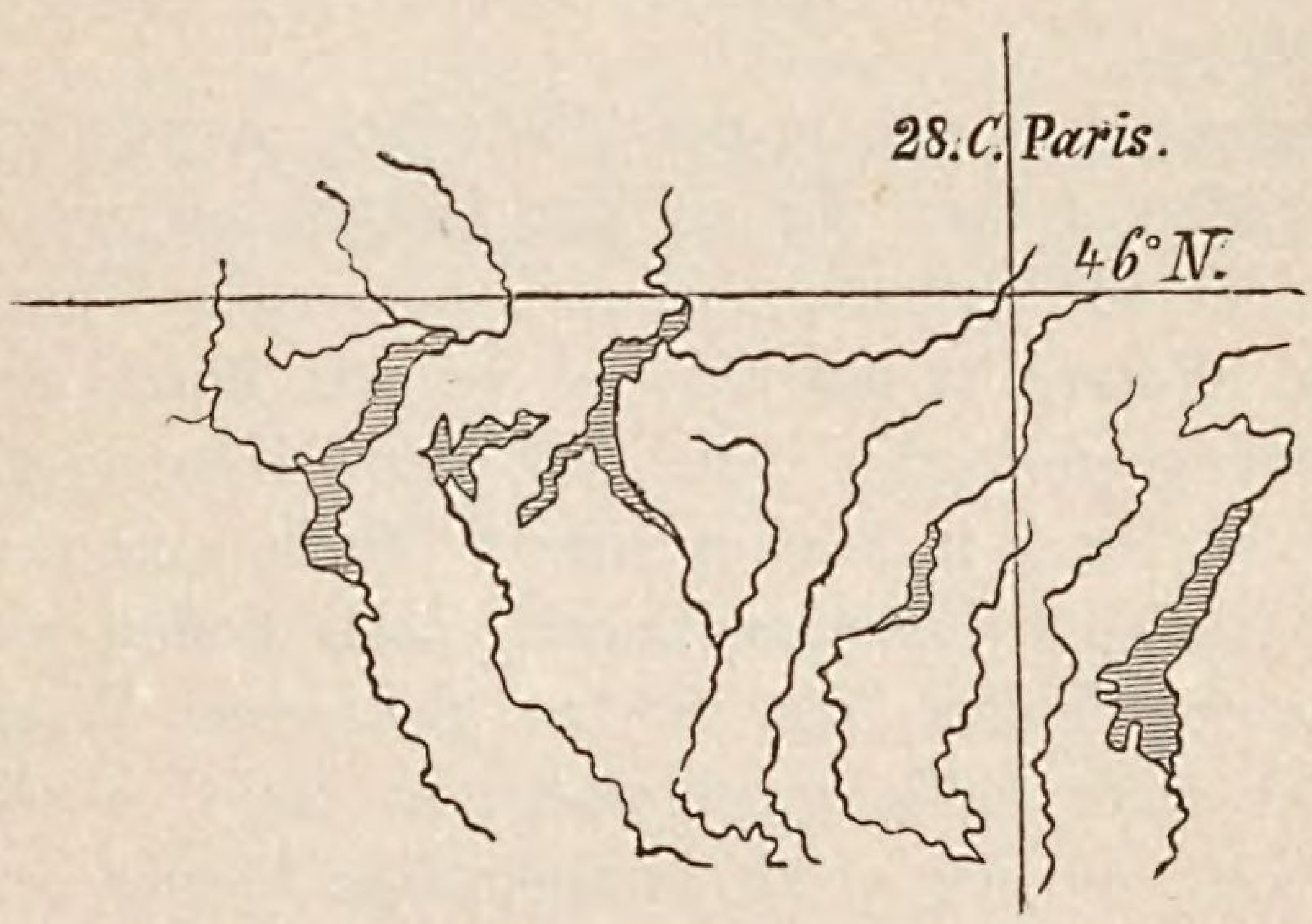
Wir halten die unterseeischen Wälle am Eingang der Fjorde für ein Werk der unablässig arbeitenden Meereswogen. Schlagen dieselben an die Felswände, welche sich gleich zwei Säulen zu beiden Seiten der Bucht erheben, so werden sie zum Theil in das ruhige Wasser derselben geworfen. Hier tritt sofort eine Verzögerung der Wasserbewegung ein, und sie lassen in Folge dessen alle die schwebenden Bestandtheile fallen, welche sie im Zustande der Bewegung fortzutragen vermochten. Wären die Felsmassen an der Westküste Skandinavien's leichter zerstörbar, so würde das Meer weit mehr getrübt sein durch Erosionsmaterial, und vielleicht würden wir schon an vielen Stellen statt der Fjorde geschlossenen Seebecken von ansehnlicher Tiefe begegnen wie hie und da an der Ostseite Island's.

Dies führt uns auf einen scheinbar nicht hierher gehörigen und doch nahe verwandten Gegenstand: auf die Entstehung der engen Gebirgsseen und namentlich der italienischen. Eine frühere Gegenwart von Gletschern liess sich bei ihnen mit Leichtigkeit nachweisen; doch können wir diesen durchaus keine grössere Wirkung beimessen als bei der Bildung der Fjorde. In Schwierigkeiten sah man sich insbesondere verwickelt, sobald man zur Betrachtung der plastischen Verhältnisse der Seebecken überging. Der Boden einiger dieser Seen reicht noch unter den heutigen Meeresspiegel hinab, und, was das ärgerlichste war, die grössten Tiefen fanden sich in der Mitte, während an der Ausmündung der Thäler nach der Ebene der Boden aufstieg. Zuerst dachte man sich die Seebecken von den Gletschern „ausgepflügt", und man ersann mechanisch unmögliche Lehren, indem man annahm, dass sich Gletscher auch an Abhängen hinaufbewegen könnten. Ramsay meinte, dass das Eis am Ende des Gletschers dünner wurde und daher eine geringere nagende Kraft ausübte als da, wo es dicker war. Doch dürfen wir hier ebenso wenig an eine Ausfeilung durch Gletscher denken wie bei den Fjorden, da auch hier λ-förmige Gabelungen vor-

kommen (vgl. den Comer See Fig. 72), deren Entstehung unmöglich der Erosion zugeschrieben werden kann.

Sir Charles Lyell, der eine Ausfurchung dieser Seen durch Gletscher verwarf, dachte sich die Seebecken als Klüfte, die gleichzeitig mit der Erhebung der Alpen sich geöffnet hätten, dann, während der Eiszeit mit Gletschermassen ausgefüllt, vor der Verschüttung durch Erosionstrümmer bewahrt worden und zuletzt zu Seen aufgethaut seien. Oder, fügte er schwankend hinzu, man könne auch annehmen, dass die Centralkette der Alpen ursprünglich höher aufgestiegen sei, so dass die heutigen Seen damals Gletscherbetten gewesen wären, die nach der Ebene zu das nöthige Gefäll für die Bewegung der Eismassen besessen hätten, dass dann eine Senkung eingetreten wäre, welche am stärksten längs der Centralaxe, schwach oder gar nicht am Aussenrande der

Fig. 72.



Die Gebirgsseen in Oberitalien.

Gebirge sich fühlbar gemacht hätte, so dass also der Boden der Seen in der Nähe der Po-Ebene nicht, wohl aber merklich in der Mitte und am stärksten an ihrem Gebirgsende gesunken wäre. Eine solche Bewegung der Alpenkette müsste doch sichtbare Spuren hinterlassen haben, an denen sie noch heutigen Tages erkannt werden könnte; aber Sir Charles Lyell hat nie versucht, den Beweis für seine Vermuthungen anzutreten.

Die Schwierigkeiten schwinden, wenn man die italienischen Seen als die Fjorde eines ehemaligen lombardischen Meeres betrachtet (s. Fig. 72), wozu wir insofern berechtigt sind, als ihr Boden noch an etlichen Stellen tiefer liegt als der Spiegel des Adriatischen Meeres. Diese Annahme scheint auch dadurch bestätigt zu werden, dass man im Garda- und Langensee eine Meerfischart, Sardene (Cyprinus Agone),

gefunden hat, deren Gattungsgenossen freilich fast sämmtlich Süsswasserfische sind [1]).

Die genannten südalpinen Seen erinnern lebhaft an einige norwegische Seen, welche ebenfalls langgestreckte Thalgebiete erfüllen und bei ansehnlicher Höhe über dem Meeresspiegel doch mit ihrem Grunde tief unter das Niveau des Meeres hinabreichen. Insbesondere gilt dies von den folgenden [2]):

	Grösste Tiefe.	Meereshöhe des Spiegels.	Grösste Tiefe unter der Meeresfläche.
Mjösen	452 Meter.	121 Meter.	331 Meter.
Storsjöen in Rendalen	301 „	257 „	44 „
Tyrifjord	281 „	63 „	218 „

Sie sind ebenfalls durch junges Schwemmland, nämlich durch Schichten aus jüngerem Mergel- und Sandlehm, von dem Meere getrennt. Auch ist für den Mjösen eine kleine, ursprünglich marine Fauna nachgewiesen [3]).

Um zu zeigen, dass sich in der That auch gegenwärtig noch aus Fjorden Seen bilden, weisen wir auf den Drammensfjord im südlichen Norwegen hin, der ein Mittelding ist zwischen einem Fjord und einem Alpensee. Sein Wasser ist brackig; er ist nur durch einen seichten, zur Verschlammung geneigten Canal mit dem Meere verbunden und enthält nach G. O. Sars in seinem unteren Theile eine marine, in seinem oberen Theile eine Süsswasserfauna; doch finden sich hier auch ursprünglich marine Thiere, die sich an das süsse Wasser gewöhnt haben [4]). Ist er einst völlig geschlossen, so trägt er alle Merkmale jener Seen an sich, die wir oben als ehemalige Fjorde betrachteten.

Wenn wir nun das Auftreten der fjordartigen Küstenzertrümmerung vergleichen, so gelangen wir zu der Belehrung, dass sie nirgends fehlen, wo sich ihre drei Vorbedingungen vereinigen: nämlich eine steile Aufrichtung der Küste, eine hinreichende Polhöhe, wie sie das Auftreten der Eiszeit erheischt, und ein reichlicher Niederschlag, wie ihn eine ergiebige Gletscherbildung verlangt. Sind diese Erklärungen beruhigend, so gewinnen unsere Kartenbilder dadurch neue Reize; denn wo wir in Zukunft zerrüttete und zerschnittene Küstenumrisse erblicken, werden sie landschaftliche Eindrücke in uns hervorrufen. Wo wir Fjorde entwickelt finden, werden wir Steilküsten vermuthen; wo sie unter höheren Breiten fehlen, werden wir einen seichten

1) Jahrbuch des österreichischen Alpenvereins. Bd. IV (1868), S. 81.
2) A. Helland, l. c. S. 553.
3) l. c. S. 559.
4) l. c. S. 559.

Küstenstrand vor uns sehen. Wir werden geistig schauen können, wie weit in den Eiszeiten Küstengletscher dem Aequator sich näherten; noch jetzt aber werden wir an den Grenzlinien jener Verwitterung den Gang der Isothermencurven verfolgen können; endlich erweckt uns noch heutigen Tages der Anblick der Fjorde die Vorstellung eines beständig getrübten Himmels mit schwer heranziehenden Wolken, die ihre Schauer über die Küste schütten, zu denen sich unter höheren Breiten Gletscher gesellen, die bis an den Seespiegel hinabwachsen und von denen sich Eisberge ablösen. Da, wo die Verwitterung Küsten schon in Inseln und Klippen aufgelöst hat, werden wir Felsarten anzutreffen hoffen, die wehrlos gegen die verbündeten und auf Schaden bedachten Kräfte des Luftkreises waren; da, wo die Fjordklüfte nach der Schnur gezogen erscheinen, werden wir schwerer zersetzbare spröde Gesteine, wie die Thonschiefer, suchen. Vor allen Dingen wird unser Auge geschärft werden für die Umrisse des Trocknen auf der Erde; wir werden das Gleiche zu ordnen, das Ungleiche zu scheiden lernen und zuletzt uns überzeugen, dass jede Einzelheit in den Umrissen der Uferlinien ihren geheimen Sinn besitzt, wenn es uns durch aufmerksames Vergleichen gelingt, sie zum Reden zu zwingen.

XIV. Ueber den Ursprung der Inseln [1]).

Um das beabsichtigte Ergebniss der gegenwärtigen Untersuchung im Voraus zu verkünden, soll der Beweis versucht werden, dass alle Inseln, die einem Festlande nahe liegen, nichts anderes sind als entweder abgesprengte Bruchstücke der nächsten Küste oder Anschwemmungen jungen Landes oder Ablösungen eines ehemaligen Continentalgebietes durch langsame Senkung unter den Meeresspiegel. Alle anderen Inseln liegen im Oceane und sind mit Ausnahme von nur zwei Erdräumen entweder durch Bauten von Korallen entstanden oder durch vulcanische Erscheinungen ausgezeichnet.

So arm ist unsere Sprache an Bezeichnungen für wasserumschlossene Erdräume, dass wir nur zwei gleichbedeutende Wörter, Insel und Eiland, auf alle Gestaltungen anwenden sollen, die so verschieden sind wie die infusorischen Körperchen des Inselschwarms an der Südküste von Cuba, den Columbus den Garten der Königin nannte, und solche kleine Welten wie Borneo, Madagaskar oder Grossbritannien. Nennt man jedes von Wasser umgebene Land eine Insel, so wird die Unterscheidung, was Insel oder Festland sei, völlig willkürlich. Der Philosoph Immanuel Kant sagte daher halb spöttisch in seinen Vorträgen über physikalische Geographie, man nenne Insel jeden Erdraum, der völlig umsegelt worden sei, Festland dagegen denjenigen, dessen Uferbegrenzungen durch die Seefahrer noch nicht haben festgestellt werden können. Wollte man diese Erklärung ernsthaft anwenden, dann würde die heutige Wissenschaft drei Weltinseln und zwei Festlande kennen. Die Weltinseln wären Amerika, die Alte Welt und Australien, die Festlande dagegen Grönland und das von Sir James Ross entdeckte Victorialand, wenn überhaupt am Südpol die trockenen

[1]) Aus Peschel's „Neuen Problemen“ (3. Aufl. S. 24—43); mehrfache wesentliche Veränderungen erwiesen sich als nothwendig.

Räume so viel Flächeninhalt besitzen sollten, dass man sie ohne Uebertreibung für ein Festland erklären dürfte.

Diejenigen Inseln, welche in der Nähe der Continente liegen und durch gewisse Merkmale ihre ehemalige Zugehörigkeit zu denselben verrathen, bezeichnet man nach Alfred Kirchhoff's Vorgang[1]) am besten als Festlandinseln. Zwei ganz verschiedenartige Kräfte haben ihre Loslösung vom Festlande herbeigeführt: entweder heftiger Wogendrang der Brandung, mächtige Fluthwellen, beide unterstützt durch die verheerenden Kräfte unseres Luftkreises, oder seculäre Senkung des betreffenden Erdraumes. Bisweilen vereinigten sich auch beide an einer und derselben Stelle, wie an der deutschen Nordseeküste, um desto erfolgreicher die Abtrennung von Randstücken des Festlandes zu betreiben. Speciell für die Fjordküsten kommt jedenfalls noch ein dritter Factor in Betracht: verschiedene Trümmer wurden hier während der Hebung des Landes geschaffen durch die Bildung zahlreicher sich durchkreuzender Klüfte und Spalten; doch ist der Hauptheil der Zerrüttung wohl auch in diesem Falle dem Spiel der Wellen und der Wirkung der Atmosphärilien zuzuschreiben. Erzeugnissen dieser Art begegnen wir, wie wir es bereits in den Untersuchungen über das Gesetz der Fjordbildung gezeigt haben, nur unter hohen Breiten; denn sie überschreiten nie auf beiden Halbkugeln eine Polhöhe von 40°. Die ausdrucksvollsten Erscheinungen dieser Art treffen wir in dem Inselraum an den pacifischen Küsten des Territoriums Aliaska und des britischen Nordamerika's, an dem zerrütteten westlichen Rande Patagonien's, an der fransenartigen Küste Grönland's in der Davisstrasse und an den westlichen Ufern Norwegen's wie Schottland's. Weder die asiatischen, noch die afrikanischen, noch die australischen Gestade sind durch Fjorde aufgeschlossen oder durch Scheereninseln eingehüllt.

Ihrem Ursprung nach völlig verschieden sind solche Inseln, welche durch örtliche Senkung von dem Festland abgelöst wurden. Die Merkmale einer solchen Entstehung zeigen sich am reinsten bei Grossbritannien und Irland. Wie man aus beifolgender Skizze (Fig. 73) sehen wird, sind die britischen Inseln ein Zubehör von Europa, welches westlich von Irland jäh in atlantische Tiefen hinabfällt; nur hat es sich an den Rändern schon unter den Wasserspiegel gesenkt, so dass das Meer den Boden der Nordsee überfluthen und durch einen eindringenden Arm, den Aermelcanal, die britischen Inseln dem Festland entfremden konnte. Dies ist, geologisch gesprochen, erst vor

[1]) Deutsche Revue. Januar 1879, S. 98. Diesem lehrreichen Aufsatze („Wie die Inseln im Meer entstanden sind," S. 96—105) verdanken die beiden Abschnitte über den Ursprung und über die Thier- und Pflanzenwelt der Inseln mehrfache Berichtigungen.

kurzer Zeit geschehen; denn die britischen Inseln besitzen alle wilden europäischen Gewächse und alle wilden europäischen Thiere, die ihrem

Fig. 73.



Die britischen Inseln.

Der schwarze Farbenton zeigt das Land an, welches übrig bleiben würde, wenn die See plötzlich um 200 Meter stiege; der nächste Farbenton giebt die heutigen Wasserlinien an; die leichte Schraffirung zeigt den Seeboden bei einer Senkung des Meeres um 200 Meter; die leeren Flächen umfassen Meerestiefen von mehr als 100 engl. Faden.

Klima zukommen[1]). An der Nordküste Schottland's finden sich Aehnlichkeiten der Pflanzenwelt mit Norwegen, an der Ostküste und im

[1]) Nach Charles Martins kommen auf den grossbritannischen Inseln auch zwei amerikanische Pflanzen, Eriocaulon septangulare und Spiranthes cernua, vor (Revue des deux Mondes. Tome LXXXV [1870], p. 645). Zur Erklärung dieses Phänomens denken wir an das historisch gut beglaubigte Einschleppen der Wasserpest, und wie diese mögen auch jene zwei Süsswasserpflanzen auf unbemerkte Art über das Atlantische Meer sich eingeschlichen haben.

ganzen Innern England's mit der Pflanzenwelt Deutschland's, an der Südküste England's und in Irland Aehnlichkeiten mit der französischen und nordspanischen Pflanzenwelt; kurz, wenn die britischen Inseln mit Europa noch trocken verbunden wären, ihre Pflanzen- und Thierwelt würde weder eine andere, noch anders vertheilt, weder reicher noch ärmer sein. Der Canal, im allgemeinen sehr seicht, ist zwischen Calais und Dover nur wenig über 20 Faden tief, so dass der Thurm mancher unserer Dorfkirchen, wenn wir sie auf die Sohle jener Meerenge setzen könnten, noch über das Wasser ragen würde. Das Nämliche gilt auch von der Nordsee; südwärts von einer Linie, die man sich von Aberdeen in Schottland nach der Nordspitze Jütland's gezogen denkt, würde der Strassburger Münster, auch wenn er auf der tiefsten Stelle des Meeresbodens stände, nicht unbeträchtlich über den Wasserspiegel aufragen. Nur an der Südwest- und Südküste Norwegen's zieht sich eine tiefe Thalfurche hin [1]). Es bedürfte also nur einer geringen seculären Erhebung, um die britischen Inseln wieder an Europa zu befestigen.

Das Seitenstück zu den britischen Inseln gewährt uns Neu-Guinea, welches die Torresstrasse von Australien trennt; denn die Torresstrasse sowohl als die westlich von ihr liegende Harafurasee besitzen nur eine mittlere Tiefe von 30 Faden, und das Gleiche ist der Fall mit dem Südchinesischen Meer zwischen Borneo, Kambodja, der Halbinsel Malakka, Sumatra und Java. Die Naturgrenze, welche Australien und seinen Zubehör an Inseln von Asien scheidet, ist eine über 100 Faden tiefe Strasse, welche, nur vier geogr. Meilen breit, die asiatische Insel Bali von der australischen Insel Lombok und Borneo von Celebes scheidet. Westlich von dieser Linie sind alle Thierformen und unter diesen, wie Wallace glänzend gezeigt hat, selbst die Vögel asiatisch; östlich sind sie alle australisch [2]). Dass jene tiefe unterseeische Kluft erst im Laufe der tertiären Zeit entstand und Australien einen trockenen Zusammenhang mit der Weltinsel besass, die wir bewohnen, beweist der Umstand, dass Europa damals noch Beutelthiere und Eukalypten mit dem heutigen Australien gemein hatte. Zum Nachtheil der australischen Schöpfung zerriss den Zusammenhang jene Spalte, und Australien blieb seitdem, auf sich selbst angewiesen, in seiner Entwicklung zurück, so dass ein Europäer, der jetzt Australien betritt,

[1]) Eine ganz ähnliche Erscheinung findet sich bei Nowaja Semlja, weshalb v. Middendorff die Vermuthung aussprach, dass hier eine allgemeine geologische Ursache zu Grunde liege. Petermann's Mittheilungen 1871, S. 31.

[2]) A. R. Wallace, The Malay Archipelago. London 1869. Vol. I, p. 18 sq.

dort die abgelegten und altmodisch gewordenen Trachten der Thiere und Pflanzen wiederfindet, die seinem heimathlichen Welttheil zur tertiären Zeit noch nicht fremd waren.

Australien bietet uns noch ein anderes Beispiel eines Gebietsverlustes in der Insel Tasmanien, welche, nur durch die seichte Bassstrasse (mittlere Tiefe 35 Faden) getrennt, nichts anderes ist als eine Halbinsel, deren unterseeischen Zusammenhang uns das Meer zu verheimlichen sucht. Die Trennung Tasmanien's von dem australischen Hauptkörper muss übrigens in einer jüngeren geologischen Vergangenheit erfolgt sein. Tasmanien ist nämlich in Bezug auf seine Pflanzenwelt, wie Hooker uns berichtet hat, vollständig australisch; sie würde kaum anders sein, wenn Tasmanien noch immer statt der Bassstrasse einen Länderzusammenhang mit der Südostecke Australien's besässe, während die Pflanzenwelt Neu-Guinea's einen ausgesprochen indischen Charakter an sich trägt [1]). Der Thierwelt Tasmanien's fehlt es zwar an Vollständigkeit, um mit der australischen übereinzustimmen; doch deutet die Ausmerzung fast aller Beutelthiere auf Neu-Guinea, sowie die Nordaustralien an Pracht weit überbietende Entwicklung der Paradiesvögel auf dieser Insel auf eine weit frühere Loslösung derselben von dem australischen Continente hin [2]). Tasmanien ist demnach als australische Insel jünger als Neu-Guinea.

Wir können von den australischen Erdräumen noch nicht scheiden, ohne auf ein merkwürdiges Gesetz aufmerksam zu machen. Während die Inseln auf vulcanischen Spalten und die Koralleneilande unter sich eine unverkennbare Aehnlichkeit ihrer Einzelkörper uns gewahren lassen, finden wir Zusammenschaarungen solcher Inseln, deren Einzelwesen durch Gliederung und Manigfaltigkeit der Umrisse individualisirt sind, nur da, wo durch Zerstörung eines älteren Zusammenhanges von Festländern Inselwelten entstanden sind. Alle Gesellschaften von grösseren nichtvulcanischen und nichtmadreporischen Inseln finden wir allein in denjenigen Meeren, die sich zwischen Festlandsmassen hineingedrängt haben. Wenn wir die wegen ihrer ungenügenden Erforschung uns noch unverständliche Südpolarwelt aus dem Spiel lassen, giebt es auf der Erde nur fünf Zusammenschaarungen von grösseren Inseln, deren Erhebung weder auf vulcanische Kräfte, noch auf die Thätigkeit von Korallen sich zurückführen lässt. Die reichste Gruppe unter ihnen, die malayische, liegt zwischen Australien und Süd-

[1]) A. Grisebach, Die Vegetation der Erde. Leipzig 1872. Bd. II, S. 69.

[2]) Alfred Kirchhoff, l. c. S. 101.

asien, die Inseln des amerikanischen Nordpolarmeeres zwischen den Küsten der Hudsonsbaygebiete und dem grönländischen Continent, die Grossen Antillen zwischen Nord- und Südamerika, die griechischen Inseln an einer Stelle, wo sich Südeuropa und Kleinasien nähern. Endlich begegnen wir im kleinen der nämlichen Erscheinung in den dänischen Inseln, welche den Zwischenraum zwischen der jütischen Halbinsel und Südschweden ausfüllen. Von dem malayischen Archipel, von der westindischen Gruppe, von den griechischen und baltischen Inseln wissen wir, dass sie auf sehr seichten Meeren ruhen; das Gleiche scheint auch mit dem Archipel in dem amerikanischen Nordpolarmeer der Fall zu sein; doch fehlen hinreichende Angaben von Seetiefen. An einzelnen Stellen sind sie dort beträchtlicher, als man es erwarten sollte, namentlich in der Davisstrasse und in der Baffinsbay.

Unter vulcanischen Inseln verstehen wir solche, welche thätige oder erloschene Vulcane tragen. Doch muss man sich hierbei stets bewusst bleiben, worauf uns Alfred Kirchhoff aufmerksam macht, dass in einzelnen Fällen die mit Vulcanen besetzten Inseln durchaus keine oceanischen Inseln sind, sondern einstmals dem Continent angehörten, also unter die Gattung der Festlandinseln zu zählen sind. Würde z. B. Frankreich um wenige Hunderte von Metern sinken, so würden die auvergnatischen Vulcane eine stattliche Reihe vulcanischer Hochinseln darstellen. Leider lässt sich in vielen Fällen nicht mit Sicherheit entscheiden, ob eine vulcanische Insel von allem Anfang an mitten aus dem Schosse des Oceans sich erhob. Doch ist z. B. das vulcanische Japan ohne Zweifel ein losgelöstes Randgebiet Asien's, und von den vulcanischen Fidschi- und Sandwich-Inseln dürfen wir mit einem hohen Grade von Wahrscheinlichkeit behaupten, dass sie die mächtigen Gipfel untergegangener Festlandsgebiete repräsentiren [1]).

Die Mehrzahl der vulcanischen Inseln ist leicht kenntlich durch ihre Anordnung und Reihenfolge. Am regelmässigsten ist ihr Auftreten an den Rändern des Stillen Meeres, von dem Territorium Aliaska angefangen bis zu den Philippinen (Fig. 74 s. S. 430). Wir gewahren zunächst, dass sich in der Richtung der Halbinsel Aliaska in einer sehr flachen, fast regelmässigen Curve die vulcanischen Aleuten anschliessen. Unmittelbar nachher folgt die vulcanische Halbinsel Kamtschatka, in deren Verlängerung aufgereiht, wie Perlen an einer Schnur, ebenfalls in einem flachen Bogen die vulcanischen Kurilen sich nach Jesso hinüberschwingen. Wiederum streckt das Festland eine halbinselartige Verlängerung vor. Es ist dies die Insel Sachalin, die nur durch eine

[1]) Alfred Kirchhoff, l. c. S. 104.

so seichte Meerenge von der Amurmündung getrennt wird, dass eine britische Flotte, welche während des Krimkrieges russische Schiffe im Tatarischen Golfe verfolgte, wegen Mangels an Lootsen es nicht wagte, in das Ochotskische Meer hinauszulaufen. Nicht unerlaubt ist es also, die Insel Sachalin als eine clandestine Halbinsel anzusehen. Wenn auch auf ihr bisher nur in der De Castrie-Bay Lavafelder gefunden worden sind, so schliesst sich doch an Sachalin wiederum die japanische Inselwelt an, ebenfalls an ihrem Westrande sanft gekrümmt und ebenfalls mit erloschenen und noch rüstigen Vulcanen ausgestattet. Folgen wir der Küste Asien's nach Süden, so stossen wir abermals auf eine Halbinsel, nämlich auf Korea, in deren Verlängerung, wie Perlen an einander gereiht, die vulcanischen Liu-Kiu-Inseln in einem Bogen nach dem Festlande zurückstreben. Zum Schluss wiederholt sich das nämliche Schauspiel noch einmal, wenn auch die Aehnlichkeiten etwas verwischter sind. Wir stossen nicht mehr auf eine Halbinsel, wohl aber auf eine Insel von peninsularer Gliederung, nämlich auf das vulcanische Formosa, welches die Fukianstrasse von dem chinesischen Festlande trennt und welches hinüberdeutet zu den hochvulcanischen Philippinen, an deren Westküste eine vulcanische Curve von Palawan nach Borneo führt, während eine zweite mehr im Osten zu den molukkischen Vulcanen leitet. Im ferneren Hintergrunde des Grossen Oceans erscheinen noch die vulcanischen Inselcurven der Boningruppe und der Marianen.

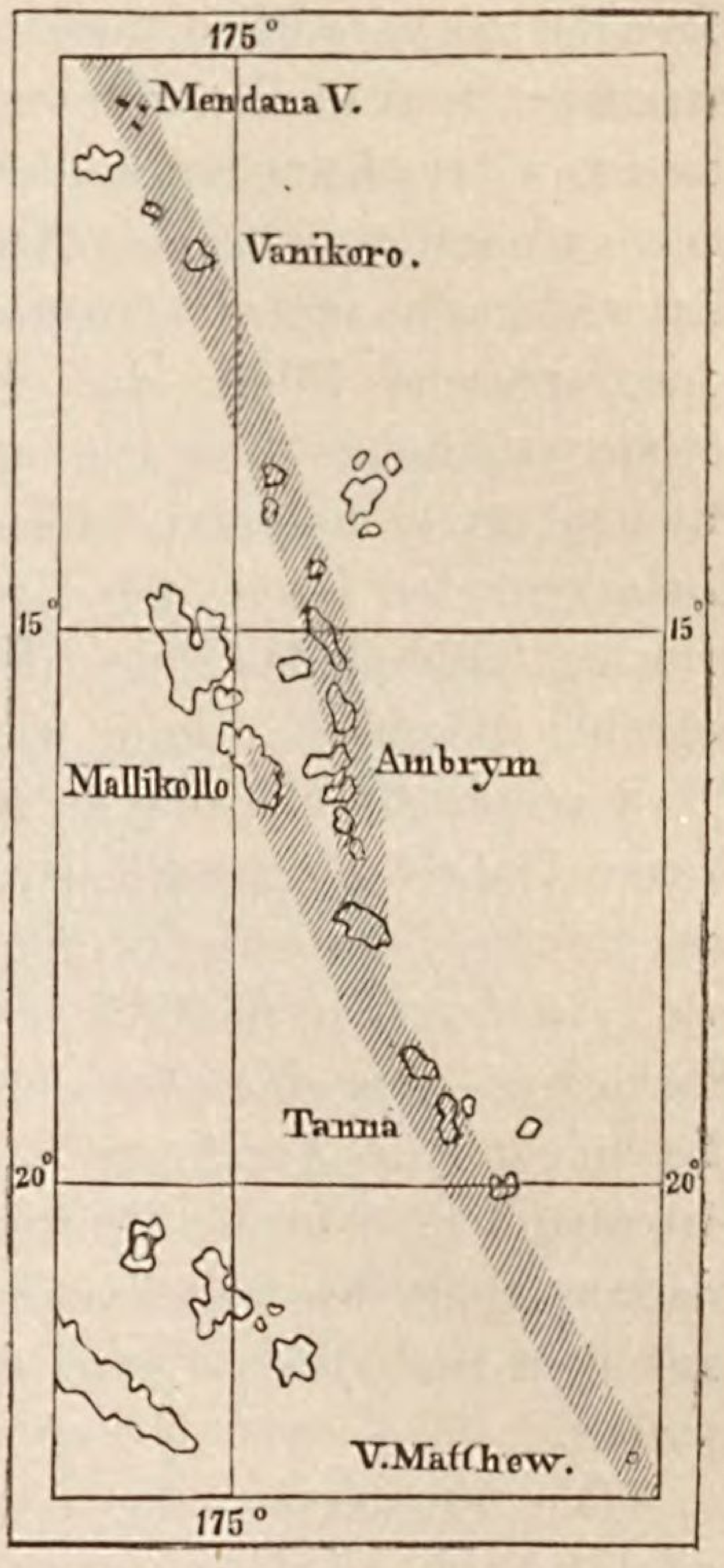
Allen diesen vulcanischen Inselschnüren ist es gemeinsam, dass sie nach dem Ocean zu gewölbt (convex), nach dem Lande zu hohl (concav) sind. Man entgeht daher schwer der Versuchung, hierin ein Naturgesetz zu erkennen, da auch in anderen Erdräumen vulcanische Inseln einer gleichen Anordnung gehorchen, wie z. B. die Kleinen Antillen in einem Bogen sich schwingen, der gewölbt zu dem Atlantischen Meer, hohl zu dem mittelamerikanischen Festlande sich verhält. Es beruht daher vielleicht nur auf einer Täuschung, wenn die Neuen Hebriden eine Ausnahme zu bilden scheinen (Fig. 75). Verlegt man nämlich die Curve von dem thätigen Vulcan auf Ambrym über den alle 10 Minuten aufpuffenden Feuerberg auf Tanna nach dem Inselvulcan Matthew, so würde sie dem Festlande Australien ihre gewölbte Seite zukehren; aber wahrscheinlich begegnen sich dort zwei Curven, wovon die eine vom Mendana-Vulcan der Santa-Cruz-Inseln nur bis Tanna reicht, die andere von Mallikollo über Tanna nach dem Matthew-Inselchen sich erstreckt, in welchem Falle beide Spalten den Hohlraum des Bogens dem nächsten Festlande zuwenden würden.

Eine weitere Folge der Anordnung jener Inselvulcane auf flachen Curven ist es, dass der Wölbung ihres Bogens ein mehr oder weniger tief in das Festland eintretender Golf entspricht. So liegt nördlich von

den Aleuten das Beringsmeer, dem es sogar gelungen ist, die schwache Verbindung der Alten und der Neuen Welt zu zerstören; nordwestlich von den Kurilen finden wir das Ochotskische Meer, westlich von Japan das Japanische Meer, westlich von den Liu-Kiu-Inseln das Gelbe Meer, westlich von den Philippinen das Südchinesische Meer.

Diese symmetrische Anordnung der Inselkränze längs des nordwestlichen Randes des Grossen Oceans hatte schon 1811 das scharfe Auge des geistreichen Philosophen Karl Chr. Fr. Krause entdeckt[1]), aber ohne dass er ihre vulcanische Natur als die bedingende Ursache erkannte. Selbst v. Hoff betrachtete in seiner gekrönten Preisschrift über die natürlichen Veränderungen der Erdoberfläche jene Inselguirlanden als ehemalige Uferränder des asiatischen Festlandes, in welche die Brandung Lücken hineingenagt habe. Auch Dana schildert uns in seinem „Manual of Geology“ (1st ed., p. 36) jenen symmetrischen Bau, ohne auf den vulcanischen Ursprung dieser Inselbildungen, der ihm doch ganz genau bekannt war, die Aufmerksamkeit zu lenken.

Fig. 75.



Die Santa-Cruz-Inseln und die Neuen Hebriden. (Die schraffirten Bänder zeigen den Gang der vermutheten Spalten. Alle mit Namen bezeichneten Inseln tragen noch gegenwärtig entzündete Vulcane.)

A. v. Humboldt bemerkte zuerst in seinem Essai politique sur la Nouvelle Espagne (Tome II, p. 300), welcher 1811 erschien, dass er beim Eintragen der Vulcane auf seine Karte von Mexico mit Betroffenheit wahrgenommen habe, wie sie sämmtlich in der Nähe von lat. 19° N. liegen, so dass, wenn man vom Tuxtla bis zum Colima alle Vulcane Mexico's durch eine Linie verbinden wollte, diese auf einer Erdkugel dem Bogen eines grössten Kreises nahezu treu bleiben würde. Verlängert man, fügt A. v. Humboldt hinzu, die Linie der mexicanischen Vulcane in das Stille Meer, so stösst man auf die ebenfalls vulcanischen Revilla-

[1]) Carl Christian Friedrich Krause, Das Urbild der Menschheit. Dresden 1811. S. 246—256 und Tageblatt des Menschheitlebens. Dresden 1811. Jahrgang I, Nr. 1. S. 3 ff.

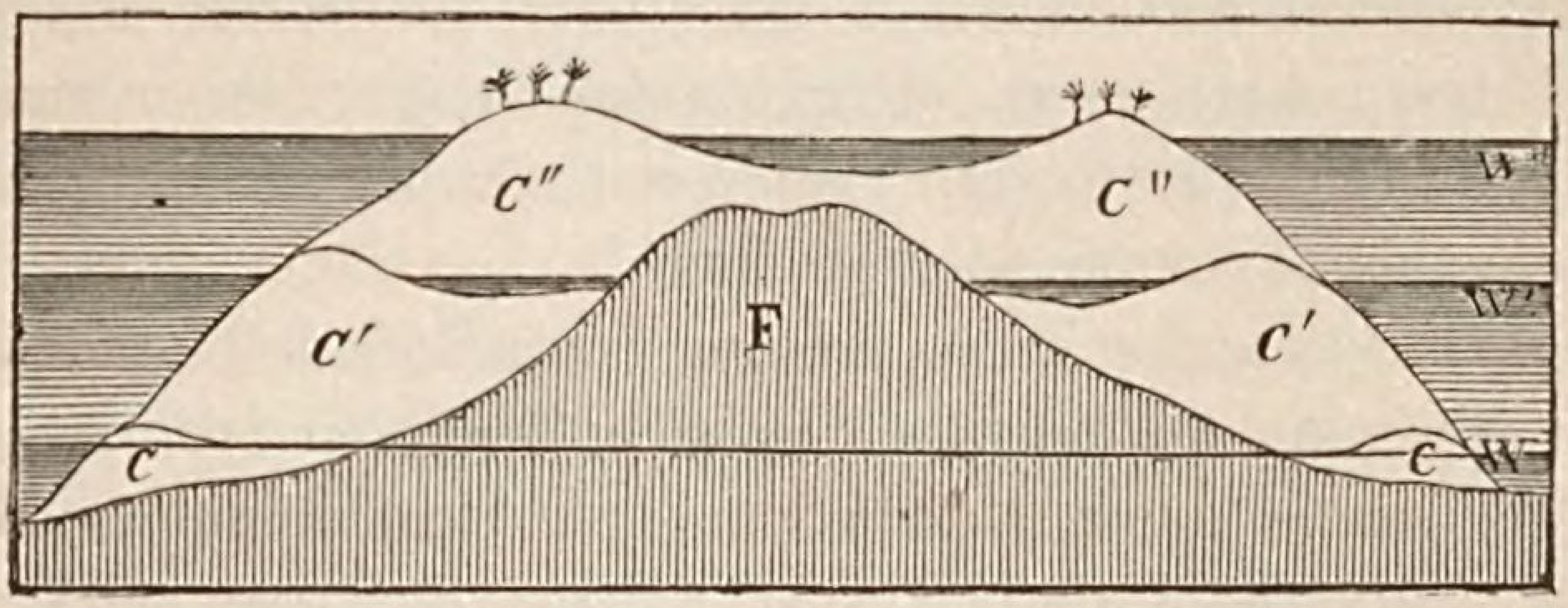
gigedo-Inseln. Es war eine der schönsten Entdeckungen A. v. Humboldt's, dass die meisten Vulcane der Erde in Reihen geordnet liegen, und Leopold v. Buch, der auf den Canarien ein örtliches Seitenstück zu dieser Erscheinung fand, schuf den Namen der Reihenvulcane. Eine Schaar von Zwergvulcanen, deren Kegel auf einander wie Soldaten in Reih' und Glied folgen, ist auf der Canarischen Insel Lanzarote aus zwei parallelen Spalten herausgetreten, die wiederum, wie dies überhaupt häufig vorkommt, von Querspalten gekreuzt worden sind (s. Fig. 36 auf S. 237). Haben wir uns solche fortlaufende Klüfte wie Lippen zu denken, aus denen zeitenweise schmelzflüssige Gesteine hervorquellen, und wird eine solche Spalte oder eine Schaar paralleler Spalten von kürzeren Spalten zweiter Ordnung vielfach gekreuzt, so erscheinen uns die geselligen Vulcane regellos angehäuft, so dass es dann wie bei den Azorischen und noch mehr bei den Capverdischen Inseln und Galapagosvulcanen schwierig wird, ohne genaue topographische Bilder das Spaltennetz herauszufinden. Wenn auch unsere asiatischen Beispiele uns die reihenweise Anordnung der Vulcane glänzend bestätigt haben, so ergab sich doch, dass sie nicht auf einem grössten Kreise der Erdkugel, sondern auf flachen Bogen liegen. Hat sich einmal das Auge des Anfängers für die Anordnung der Inselreihen geschärft, dann wird es ihm bald gelingen, auf den ersten Blick schon die vulcanische Natur der Marianen, der Salomonen, der Neuen Hebriden zu erkennen. Etwas schwieriger ist es schon, die vulcanische Curve wiederzufinden in der Hawaiigruppe oder dem Sandwich-Archipel der nördlichen Halbkugel und der doppelten Kette der Marquesas- oder Mendaña-Inseln. Um vieles deutlicher ist dagegen die vulcanische Anreihung im Meerbusen von Guinea bei den Inseln Annobon, S. Thomé, Principe und Fernão do Po sichtbar, in deren Verlängerung das vulcanische Camerungebirge auf dem Festland Afrika's liegt und deren Curve sich ebenfalls hohl zum nächsten Festlande verhält.

Die Entstehung der zweiten Art von Inseln auf hohem Meer, welche die Korallen erbauen, wurde zuerst von Charles Darwin auf seiner Weltumsegelung mit Fitzroy nach genauer Untersuchung der madreporischen Keelings- oder Cocosinseln im Südwesten der Sundastrasse befriedigend erklärt. Die riffbauende Koralle stirbt bekanntlich, sowie ihre Stöcke bis an den Spiegel des Seewassers emporgewachsen sind. Wir wissen ferner, dass diese kalkausscheidenden Polypen nur aus sehr mässigen Tiefen (nämlich von höchstens 40 Metern) ihren Bau beginnen, schon weil sie nur in Seewasser zu leben vermögen, welches eine mittlere Temperatur von 25 bis 30° C. hat (nur gewisse Geschlechter können eine Temperatur von 16 bis 20° C.

ertragen). Da nun in der Nähe der meisten Koralleninseln das Loth in ungewöhnliche Seetiefen hinabsinkt, so muss, während der Korallenbau aufstieg, der Baugrund sich gesenkt haben, wenn auch Pausen in dieser Bewegung und mit ihnen ein Stillstand im Emporwachsen der Korallenriffe eintraten.

Die Bildung der ringförmigen Korallenbauten (Atolle), welche sich mitten aus oceanischen Tiefen erheben, vollzog sich demnach in folgender Weise. Jeder derselben setzt eine Bodenanschwellung voraus, die einst inselförmig aus dem Meer emporragte und allmählich unter den Spiegel desselben hinabsank. Um dies zu versinnlichen, geben wir bei *W* (Fig. 76) den ursprünglichen, bei *W'* den nächsten, bei *W''* den heutigen Stand des Wasserspiegels an. Als *F* noch hoch über *W* hinausragte, erbauten die Korallen an seinen Flanken das Strandriff *C*, welches sich direct an das Ufer anlehnte. Als der Berg tiefer sank, so dass das Wasser bis *W'* stieg, wuchs das Korallenriff unun-

Fig. 76.



Querschnitt durch eine Koralleninsel in den verschiedenen Stadien ihrer Entwicklung.

terbrochen nach oben und zwar am kräftigsten an seinen äusseren Rändern. Je mehr die Insel unter das Meer hinabtauchte, desto breiter wurde die Lagune zwischen ihr und dem Korallenbau, der in diesem Entwicklungsstadium den Namen Dammriff führt (*C'*). Endlich verschwand *F* völlig unter dem Wasser; die Korallen aber erbauten das Lagunenriff *C''*, eine mehr oder weniger ringförmige Insel mit einem See in der Mitte. Ursprünglich reichte dieselbe nur bis an das Niveau des Meeres, was natürlich auch von dem Strand- und Dammriff gilt; doch hierbei blieb es nicht. Muscheln, Algen, vom Meere beständig angeschwemmt, sowie die Excremente der Vögel trugen zur Erhöhung dieser flachen Bänke bei; die Wogen führten Samen von Pflanzen herzu; es entwickelte sich eine Vegetation, deren Detritus das Terrain nicht bloss vergrösserte, sondern auch fähiger machte zur Ansiedelung neuer Gewächse. Strandete dann zufällig einmal eine Cocosnuss, die ihre Keimkraft selbst im Salzwasser lange bewahrt, so bedeckte sich diese Insel auchmit Bäumen.

So erscheinen uns denn die Koralleninseln als die letzten verzweifelten Anstrengungen eines verschwundenen Festlandes, sich über dem Meere zu erhalten, etwa wie empfindsame Maler auf Darstellungen von Sintfluthen uns Mütter zeigen, die im Versinken noch ihren Säugling mit ausgestreckten Armen über das Wasser emporzuhalten suchen [1]. Freilich wird damit nur eine kurze Frist gewonnen. Schon der berühmte arabische Geograph Biruni berichtet, dass zeitenweise einzelne Inseln der Malediven und Lakkadiven vom Meer verschlungen würden. Aber auch in neuerer Zeit mögen derartige Ereignisse wiederkehren. So fand der englische Schiffslieutenant Prentice eine der Malediven, welche wenige Jahre zuvor noch Cocoshaine getragen hatte, bedeckt mit lebendigen Korallenpolypen. Wenn auch die Eingeborenen behaupteten, das Eiland sei von stürmischen Seen hinweggespült worden, so ist doch viel eher an ein örtliches Sinken des Meeresbodens zu denken [2]. Noch jetzt hören wir, dass polynesische Inselbewohner zur Flucht und Wanderung genöthigt werden, weil ihre zerbrechlichen Wohnsitze vom Meere zerstört wurden, was uns die weite Zerstreuung der malayischen Menschen durch ein Gebot der Natur erklären hilft, wenn auch beispielsweise die Maori, welche nach dem menschenleeren Neuseeland fuhren, von Savai, also von einer hohen Insel, nach ihren Ueberlieferungen gekommen sein wollen.

Begegnen wir auf unseren Karten zerstückelten Korallenriffen, so dürfen wir übrigens nicht immer an eine Zerstörung derselben durch das Meer denken, sondern es können jener Erscheinung auch andere Ursachen zu Grunde liegen. Die Korallen erfordern nämlich klares Seewasser; sie finden sich daher nirgends, wo die Ufer aus schlammigen Alluvionen gebildet sind. Auch verlangen sie einen unverkümmerten Salzgehalt des Seewassers. Dieser letztere Umstand hat im Stillen Ocean eine nautische Bedeutung, da viele seiner Inseln der Schifffahrt nicht erreichbar sein würden, wenn sich nicht unfehlbar die Korallenriffe gegenüber den Mündungen der Bäche öffnen müssten; denn der Ausfluss des süssen Meteorwassers tödtet die Korallen oder lässt sie vielmehr gar nicht aufkommen. So deuten die Lücken in den Gürtelriffen auf die Mündung eines Baches an der gegenüber liegenden Uferstelle, und umgekehrt führen die Bäche der Inseln zu Lücken in dem Korallengürtel.

Die heutigen Koralleninseln der Südsee sind vielleicht auf den Höhenrücken eines polynesischen Welttheiles der Vorzeit in die Höhe gewachsen; wenigstens hat Dana gezeigt, dass diese Inseln, welche

[1]) Peschel im Ausland 1864, S. 328.

[2]) Charles Darwin, Coral Reefs. 2nd ed. London 1874. p. 77.

regellos wie die Stäubchen in einem Sonnenstrahl quer die Südsee durchschwärmen, doch in parallelen Zügen einer allgemeinen Richtung, wenn auch örtlich sich krümmend, beharrlich folgen und lebhaft dadurch an die parallelen Ketten und die Windungen der Cordilleren uns mahnen. Baut die Riffkoralle nur in warmem Seewasser, welches eine mittlere Temperatur von c. 25° C. besitzt, so können sich in der geologischen Gegenwart Koralleninseln nur in den tropischen und subtropischen Gürteln finden, und wo hier kalte Meeresströmungen die örtliche Temperatur bedeutend erniedrigen, wie dies an der pacifischen Küste von Südamerika durch die Peruanische Strömung geschieht, da werden ebenfalls die Korallenbildungen verscheucht. In Petermann's geographischen Mittheilungen von 1857 (Tafel I) besitzen wir eine Karte der Südsee mit Angabe der Meerestemperaturen und einer farbigen Begrenzung der Korallenzone, die wir zur Begründung unseres Gesetzes jetzt anrufen, dass fern von Festlanden ausserhalb der Korallenzone Inseln nur als Vulcane oder in der Nachbarschaft von Vulcanen aufsteigen.

Der grosse Meeresraum westlich und östlich zwischen Japan und Californien, nördlich und südlich zwischen den Aleuten und Hawaii-Inseln, der allein mit Recht den Namen des Stillen Meeres verdient, ist völlig inselleer. Auf diesen folgt dann der Wolkenschwarm kleiner Inseln bis zur südlichen Begrenzung der Korallenbauten. Unter diesen Tausenden von Inseln begegnen wir nur zwei Classen, nämlich den hohen und den niedrigen Inseln. Die hohen sind ohne Ausnahme vulcanisch; die niedrigen sind ohne Ausnahme sogenannte Atolle oder Korallenbauten. Nur äusserst selten wurden Koralleninseln wieder ansehnlich über den Wasserspiegel erhoben. Wieder aufgerichtet wurden z. B. nach Dana[1]) in der Tuamotu-Gruppe die Elisabethinsel oder Toau um 24, die Matia- oder Aurorainsel um 76 Meter, beide in der Nähe der vulcanischen Gesellschaftsinseln. Die nämliche Erscheinung kehrt bei der Cooks- oder Hervey-Inselgruppe wieder, die in neuerer Zeit von Lamont[2]) besucht und beschrieben wurde; die Erhebungen betragen dort bei Atiu 4, bei Mangaia 91 Meter; Rurutea mit 46 Meter Höhe gehört der benachbarten Tubuaigruppe an. Auch sie befinden sich in der Nähe der vulcanischen Gesellschaftsinseln; ja Rarotonga mitten unter ihnen besitzt selbst einen Kegelberg und ist höchst wahrscheinlich nichts anderes als ein Inselvulcan. Die anderen erhobenen Korallenbildungen zählen wie Oahu zur Hawaii-, Eua, Vavau und die Savage-Insel oder Inue zu der Freundschaftsgruppe, liegen also auf vulcanischem Gebiet.

[1]) Manual of Geology. p. 578.

[2]) Wild Life among the Pacific Islanders. London 1867. p. 72 sq.

Die hohen Inseln gehören den Gruppen der Salomonen, der Neuen Hebriden, der Viti- (Fidschi-), der Tonga-, der Samoa-, der Tahiti- und der Marquesasgruppe an; selbst einzelne Vorposten, wie Pitcairn, die Osterinsel [1]) und Sala-y-Gomez, sind ehemalige Vulcane oder vulcanischen Ursprungs verdächtig. Die noch thätigen Vucane liegen sämmtlich in der Nähe der Festlande; die Vulcane der Marianen sind indessen weit von Asien, die auf den Samoa- [2]) und Tonga-Inseln weit von Australien, die hawaiischen weit von Amerika entfernt; verkühlt ist bereits die Gluth auf den Viti- (Fidschi-) und den Mendaña-Inseln. Mit den Vitivulcanen hat uns besonders Berthold Seemann bekannt gemacht, der selbst den Ruke Levu auf der Insel Kadavu bestieg. Schon seine äussere Gestalt erinnerte ihn an den Vesuv; noch brechen an seinen Abhängen Quellen hervor, und auf seinem Gipfel ist ein Sumpf sichtbar, wahrscheinlich der letzte Rest eines schlecht ernährten Kratersees. Die Küste Nord- und Südamerika's, welche der Südsee zugekehrt ist, wird auch nicht durch eine einzige Insel belebt ausser solchen, die als Bruchstücke der nächsten Ufer zu betrachten sind. Wo wir auf hohem Meere Inseln dort antreffen, ruhen sie immer auf vulcanischem Boden, wie die Revillagigedos, die Galapagos, die Gruppe Juan Fernandez und Mas-a-fuera. In der Verlängerung des Südhornes stossen wir abermals auf Vulcane, wie Dumont d'Urville's Joinvilleland, welches zur hochvulcanischen Shetlandgruppe gehört; auf diese folgen gegen Osten die antarktischen Sandwichinseln, welche bei näherer Erforschung wahrscheinlich doch noch vulcanischen Ursprung verrathen werden, da auch sie auf einer Curve aufgereiht liegen.

Noch leerer an Inseln ist der Atlantische Ocean. Von dem vulcanischen Island gegen Süden treffen wir zuerst auf die Parallelreihe der azorischen Vulcane, dann auf die Madeira- und die Canariengruppe mit ihren erloschenen und noch thätigen Vulcanen. Ihnen gegenüber im Westen, der Neuen Welt näher, begegnen wir den einzigen atlantischen Korallenbauten auf hoher See, nämlich der Bermudasgruppe. Zwar finden sich hier auch dünne Sandsteinschichten; doch stammen sie nur von zerbrochenen Kieselpanzern her, die von Sturm und Wogen an's Land geschleudert werden [3]). Afrika wieder näher folgen

[1]) Die vulcanische Natur der Osterinsel oder Rapa-nui bestätigt J. L. Palmer in den Proceedings of the R. Geographical Society 1870, p. 109.

[2]) In der Nähe der Schifferinseln oder der Samoagruppe wurden im September und October 1866 vor Olesinga Ausbrüche eines unterseeischen Vulcans wahrgenommen und beschrieben von Eduard Graeffe im Ausland 1867, S. 522. Vgl. auch Sir Charles Lyell, Principles of Geology. 12th edition. London 1875. Vol. II, p. 413.

[3]) Nautical Magazine 1868, p. 480, wo es heisst: the sandstone being composed entirely of broken shells . . . cast up by the winter gales.

dann die früher schon erwähnten capverdischen Vulcane und die vulcanischen Inseln im Meerbusen von Guinea. Vor der Küste Brasilien's, bereits jenseits des Aequators, steht einsam die Inselgruppe Fernando Noronha; sie ist ein altes vulcanisches Bauwerk, was auch bei dem Besuche derselben durch die Challenger-Expedition am 1. und 2. September 1873 wieder bestätigt wurde [1]). Nordöstlich von ihr liegen die Peter- und Paulsfelsen, wovon der erste, von Darwin besucht, eine Schieferplatte, vor jedem Verdachte einer vulcanischen Bildung gesichert ist. Wenn wir aber von der Vulcaninsel St. Helena über die Vulcaninsel Ascension nach den beiden Felsen eine Curve ziehen, so berührt sie auf dem Wege von Ascension dorthin eine atlantische Stelle, wo seit 1747 bis in neuere Zeit von Seefahrern wiederholt Anzeichen von Ausbrüchen unterseeischer Vulcane wahrgenommen worden sind [2]). Gegen Süden, nahe am 20. Breitengrade, liegen die kahlen Klippen Trinidad und Martin Vaz, welche von Indienfahrern auf dem Wege nach dem Cap zur Berichtigung der Schiffsuhren angelaufen werden, über deren Ursprung jedoch uns nähere Angaben fehlen. Dagegen ist Tristan da Cunha ein altes vulcanisches Gerüst [3]), und die Insel Diego Alvarez (Gough) liegt auf einer Spalte, die von Tristan nach der Lozier-Bouvetgruppe mit dem Vulcan der Thompsoninsel führt. Im Südosten von Afrika folgen von West nach Ost vielleicht auf derselben Spalte drei vulcanische Archipele: die Marion-, die Crozet- und die Kerguelengruppe. Oestlich von Madagaskar stossen wir sogleich auf die vulcanischen Maskarenen, Bourbon und Mauritius, in deren Verlängerung die Granitinsel Rodriguez liegt, und westlich in der Mozambiquestrasse auf die vulcanischen Comoren. In dem Raume zwischen Madagaskar und Australien giebt es mit Ausnahme der Maskarenen und der mitten in einem leeren Raum gelegenen südlichen Zwillingsvulcane St. Paul und Neu-Amsterdam nur Korallenbauten. Im Süden Australien's liegen, von Schnee und Eis verhüllt, die zweifelhaften antarktischen Landmassen, die wohl nur deshalb immer für ein weites Festlandsgebiet angesehen wurden, weil man unter ihrem ausgedehnten, nie wegschmelzenden Eismantel überall Land vermuthete. Entzündete Vulcane finden sich hier auf den Ballenyinseln, sowie im Victorialand. Ob diese aus tiefem Ocean aufsteigenden Inseln jedoch bloss als Inselvulcane

[1]) Nature, Vol. IX, Nr. 229. 19. March 1874, p. 388 sq.

[2]) Als das Obige geschrieben wurde, war dem Verfasser noch nicht bekannt, dass Darwin bereits die nämliche Vermuthung geäussert hatte, die auch Sir Charles Lyell sich angeeignet hat. Ch. Darwin, Volcanic Islands, p. 92. Sir Charles Lyell, Principles of Geology. 12th ed. London 1875. Vol. II, p 64. Vgl. hierzu A. v. Humboldt, Kosmos. Bd. IV, S. 376.

[3]) Siehe Petermann's Mittheilungen 1855, S. 83 und Taf. VII.

oder (wegen ihres grösseren Umfangs) als Continentalbruchstücke zu betrachten sind, wagen wir noch nicht zu entscheiden. Die vulcanischen Aucklandinseln führen uns dann hinüber nach dem hochvulcanischen Neuseeland, das wiederum gegen Osten in den Chathaminseln einen vulcanischen Posten vorgeschoben hat.

Inseln in der Nachbarschaft der Festlande sind also entweder abgesprengte Bruchstücke steiler Küsten, wie die Fjordinseln, oder durch die Gewalt der Meereswogen losgelöste Ufertheile oder endlich, wenn eine Senkung der Continente voranging, durch Ueberschwemmung abgetrennte Festlandgebiete. Inseln auf hohem Meer dagegen entstehen entweder durch die Kalkausscheidung gewisser Polypen, oder sie liegen auf dem Gebiete vulcanischer Ausbrüche.

Beunruhigend für diese Auffassung war uns lange Zeit, dass in dem Laurentiusgolf Canada's die Insel Anticosti, welche weder auf vulcanischem Gebiete liegt, noch selbstverständlich eine Schöpfung von Korallen sein kann, nach der Versicherung von Henry Yule Hind[1]) weder Frösche, noch Kröten, noch Schlangen zu ihren Bewohnern zählt. Die Abwesenheit der Batrachier deutet sonst stets an, dass Inseln erst kürzlich aus dem Meeresboden sich erhoben haben; denn Frosch- und Krötenlaich wird rasch vom Seewasser zerstört, wie Darwin gezeigt hat. Da nun Anticosti nicht durch eine Senkung Labrador's oder Neu-Braunschweig's abgetrennt worden sein konnte, weil ihm dann doch gewiss jene vermissten Thierarten geblieben wären, so blieb nichts anderes übrig als zu vermuthen, dass diese Insel, ohne jemals mit dem Festlande verknüpft gewesen zu sein, aus dem Meere aufgestiegen sei. Sorgfältige Nachforschungen führten jedoch zu einem ganz anderen Ergebnisse. Die Felsarten von Anticosti gehören nämlich einem eigenen Schöpfungsabschnitt an, der, von amerikanischen Geologen zwischen die Quebeck- und die Niagaraformation eingeschaltet, ein Glied aus der Zeit der oberen silurischen Schichten bildet[2]). Ehe die silurische Zeit zu Ende ging, war Anticosti bereits aus dem Meere aufgestiegen, und erfolgte dann rasch seine Abtrennung von dem übrigen amerikanischen Festlande, so konnte es, da jenen Zeiten die Reptilien fehlten, noch nicht von Batrachiern bevölkert worden sein. Anticosti ist also Insel gewesen und Insel geblieben, bevor Frösche und Kröten in der Schöpfung auftraten; es ist ein uraltes Stück Land, abgelöst von einem silurischen Continente.

Eine einzige Insel oder Inselgruppe der Südsee, über die wir bisher geschwiegen haben, nämlich Neu-Caledonien mit den parallel ihr

[1]) The Labrador Peninsula. London 1863. Vol. II, p. 70.

[2]) S. die Beschreibung der Anticosti-Formation in Logan's Geology of Canada. Montreal 1863. p. 298 sq.

vorgelagerten Loyalitätsinseln, kann Zweifel über ihre Herkunft erregen. Zwei der letzteren Inseln und Neu-Caledonien sind gebirgig. Vulcane oder Spuren von vulcanischen Kräften sind auf ihnen noch nicht wahrgenommen worden; sie scheinen also eine bedenkliche Ausnahme von der Regel zu bilden, dass alle hohen Inseln von Vulcanen aufgerichtet sind. Man könnte zunächst eine Beruhigung darin suchen, dass ihr Auftauchen zwischen der vulcanischen Inselreihe der Neuen Hebriden und dem Festlande von Australien weniger befremden dürfe; denn auch bei anderen Vulcanreihen zeigt sich bisweilen, dass Inselketten in grösserem Abstand parallel eine Erhebungsspalte begleiten, wie z. B. die Mantawi-Inseln auf der oceanischen Seite des vulcanischen Sumatra an einander gereiht liegen. Die Entfernung Neu-Caledonien's von den Neuen Hebriden ist aber doch zu beträchtlich, um Vertrauen zu diesem Vergleich zu erwecken. Verlängert man dagegen die grosse Axe Neu-Caledonien's nach Nordwesten, so berührt sie den Louisiade-Archipel, der wiederum nichts anderes ist als eine in's Meer versunkene Gliederung Neu-Guinea's. Beachten wir ferner, dass auf der Gruppe Neuseeland's zwei Erhebungsaxen scharf zusammenstossen, nämlich eine von Südwesten nach Nordosten, mit der eine andere von Südosten nach Nordwesten zusammentrifft, und dass die Verlängerung der letzteren zur Berührung der Südostspitze Neu-Caledonien's führen würde, übersehen wir vor allem nicht, dass die Ostküste des Continents von Australien, wenn auch abgestumpft, parallel zu den beiden Axenrichtungen Neuseeland's streicht und symmetrisch wie dieses letztere unter lat. 25° S. plötzlich nach Nordwesten herüberschwenkt, so deutet dieser gemeinsame und gewiss nicht aus Zufall übereinstimmende Bau auf eine geologische Vergangenheit, in welcher der neuholländische Continent tiefer nach Osten in die Südsee hineintrat und wo ihm noch Neu-Guinea, Neu-Caledonien und Neuseeland angehörten, die uns dann seine ehemaligen Uferbegrenzungen verrathen. Neu-Caledonien gehört noch gegenwärtig unter die Inseln, die langsam abwärts schweben, und dass auch zwischen dieser Gruppe und Australien eine starke Senkung stattgefunden hat, bezeugt das grosse Barrière-Riff an der Ostküste Australien's. Streckte ehemals der australische Continent sein südliches Horn nach höheren antarktischen Breiten, so etwa, dass seine Spitze in der Verlängerung der neuseeländischen Südinsel, sowie in der Verlängerung der Westküste Tasmanien's lag, so würde er die heutige Macquarie-Insel berührt haben, und seine Gestalt wäre dann dem heutigen Afrika täuschend ähnlich gewesen (Fig. 77).

Die vorgetragene Ansicht hatte im Jahre 1867 in der That vieles für sich; wesentlich anders liegen die Verhältnisse jetzt. Die zahlreichen neueren Tiefseemessungen, welche am Bord des Challenger, der

Tuscarora und der Gazelle vorgenommen wurden, sind zwar der obigen Annahme insofern günstig, als eine Linie von der Carpentaria-Halbinsel über Norfolk nach der Nordinsel von Neuseeland nur durch ein seichtes, c. 500 Faden tiefes Meeresgebiet hindurchführt; doch ist Neu-Caledonien von demselben durch einen gegen 1500 Faden tiefen Canal getrennt. Von Tasmanien und Neuseeland aus finden sich weithin nach Süden seichte Meerestheile; indessen sinken dieselben,

Fig. 77.



über 2000 Fd. tief — 2000-1000 Fd. t. — wen. als 1000 Fd. t.

Australien und seine Inselwelt mit Angabe der asiatischen Naturgrenze nach Wallace.

ehe sie die Macquarie-Insel erreichen, wahrscheinlich unter die 2000-Faden-Linie herab. Ungünstig sind die neu ermittelten Tiefenwerthe jener Annahme aber namentlich insofern, als sie für das Meer zwischen Tasmanien, Neuseeland und der Macquarie-Insel die Existenz einer weiten, in der Mitte bis gegen 2600 Faden tiefen Mulde fordern. Ein Blick auf das obige Tiefenkärtchen lässt uns ferner sofort erkennen, dass, wenn überhaupt jemals ein Zusammenhang zwischen Australien

und der Macquarie-Insel bestand, dieser wohl nur durch Neuseeland, aber kaum durch Tasmanien vermittelt werden konnte. Doch hätte auch in solchem Falle der australische Continent den Typus der drei südlichen Erdtheile noch deutlich verrathen.

Da Neuseeland's Organismen — und zwar ebensowohl die lebenden wie die fossilen aus den entferntesten geologischen Zeitaltern — eine reiche Fülle ganz eigenthümlicher Formen aufweisen, so ist freilich auch die Möglichkeit nicht ausgeschlossen, dass diese Doppelinsel, sowie Caledonien und die benachbarten kleinen Gruppen die letzten Ueberreste eines alten, untergegangenen Continentes sind [1]).

Von allen bisher genannten Inseln völlig verschieden sind Madagaskar und Ceylon. Je öfter man diese Inseln betrachtet, um so befremdender wirkt ihr Anblick. Johann Reinhold Forster, der Begleiter Cook's auf seiner zweiten Reise, der nach Lord Bacon am frühesten mit geographischen Vergleichen sich beschäftigte, erkannte schon, dass die grossen Weltinseln spitz und steil gegen Süden vordringen. Er selbst sah Afrika am Cap der Guten Hoffnung schroff in das Meer sinken; er segelte am Feuerland vorüber; er berührte auch die Südspitze Tasmanien's, welches man damals (1773) und noch bis zum Ende des vorigen Jahrhunderts für eine ächte Halbinsel des australischen Festlandes betrachtete, und er rechnete auch noch mit vollem Rechte die vorderindische Halbinsel zu den nach Süden gerichteten, dreieckigen Auswüchsen der Weltinseln. Höchst merkwürdig sei es, fügt er dann hinzu, dass die westlichen Ränder dieser Continentalspitzen inselfrei seien, während auf ihren Ostseiten grössere Inseln oder Inselgruppen auftauchten, nämlich östlich von der südamerikanischen Spitze die Falklandsgruppe, östlich vom südafrikanischen Dreieck Madagaskar, östlich von der vorderindischen Halbinselpyramide Ceylon, endlich östlich von dem tasmanischen Horn Australien's die Neuseelandgruppe. So merkwürdig auch immer die Uebereinstimmung der Ortslage dieser Inseln bleiben mag, so sehen wir doch diese Körper selbst mit ganz anderen Augen an, als es vor nicht ganz hundert Jahren von Forster geschehen konnte. Die flachen Falklandsinseln mit ihrer patagonischen Flora und Fauna sind ein Zubehör des südamerikanischen Continents und haben wenig Aehnlichkeit mit der hochvulcanischen neuseeländischen Gruppe, dem Eckstein des ehemaligen Australien's, mit dem sie nur in sehr ferner geologischer Zeit einen trockenen Zusammenhang besessen haben kann. Noch verschiedenere Gedanken erregen in uns die Gestalten Ceylon's und Madagaskar's, die, wie A. v. Humboldt flüchtig, aber treffend andeutet, einen „conti-

[1]) Diese Anschauung vertritt Alfred Kirchhoff, l. c. S. 101.

nentalen Charakter“ verrathen [1]). Madagaskar, zwischen den vulcanischen Comoren und den vulcanischen Maskarenen gelegen, an einigen Küstenpunkten selbst des Vulcanismus überführt, darf trotzdem nicht als eine vulcanische Schöpfung betrachtet werden. Von Afrika trennt es ein oceanisches Thal, durch welches sich die reissende Mozambique-Strömung von N. nach S. ergiesst. Die afrikanische und madagassische Uferbegrenzung dieses oceanischen Gewässers trägt durch ihre entsprechenden aus- und einspringenden Winkel das Gepräge eines Erosionsthales, wenn Erscheinungen der strömenden Süsswasser in Binnengebieten mit den kreisenden Bewegungen der Weltmeere verglichen werden dürfen. Trotz dieser verführerischen Aehnlichkeiten ist Madagaskar doch nicht als ein abgelöstes Stück des heutigen Afrika zu betrachten [2]). Sind auch seine beiden organischen Reiche noch nicht hinreichend erforscht und verglichen worden, so wissen wir doch genug von ihnen, um Madagaskar wegen seines Reichthums an eigenthümlichen Pflanzen und Thiertrachten als eine kleine Welt für sich anzusehen. Wenn Du Petit Thouars dieser Insel auch eine endemische Pflanzenfamilie (die Chlaenaceen) zuerkennt, so bleibt es zweifelhaft, ob er genügenden Grund hierzu hat [3]). Doch hat man bereits gegen hundert Madagaskar eigenthümliche Gattungen beschrieben, die sich über etwa 40 Familien vertheilen. Noch auffallender ist die madagassische Thierwelt. Unter anderem besitzt es, wie der holländische Herpetolog Schlegel längst schon gezeigt hat, seine eigenen Schlangen und ausschliesslich drei Gattungen von Halbaffen, Aye-Aye, Indri und die ächten Maki oder Lemurinen, wie es von R. Owen neuerdings bestätigt worden ist [4]).

Ceylon zeigt zwar, wie dies bei seiner grossen Annäherung an das indische Festland nicht anders zu erwarten war, viel Uebereinstimmung seiner Thier- und Pflanzengestalten mit der indischen Halbinsel. Dagegen hatte schon Karl Ritter und noch entschiedener Sir Emerson Tennent es ausgesprochen, dass Ceylon nicht als ein abgerisse-

[1]) Kosmos. Bd. IV, S. 413.

[2]) Wenn Madagaskar jemals mit einem Erdraume, der heute zu Afrika gehört, eine Verbindung besass, so wurde sie doch bereits am Schlusse der miocänen Zeit zerstört. Sir Charles Lyell, Principles of Geology. 12th ed. London 1875. Vol. II, p. 348. Geoffroy Saint-Hilaire erklärt Madagaskar für einen eigenen Welttheil.

[3]) A. Grisebach, Die Vegetation der Erde. Leipzig 1872. Bd. II, S. 525.

[4]) Vgl. hierzu H. Schlegel, Monographie des Singes. Leide 1876. p. 352 sq., Ludwig K. Schmarda, Die geographische Verbreitung der Thiere. Wien 1853. Bd. II, S. 286 ff. und A. R. Wallace, Die geographische Verbreitung der Thiere. Deutsch von A. B. Meyer. Dresden 1876. Bd. I, S. 320 ff.

nes Stück des Dekhan betrachtet werden dürfe, und der letztere besonders durch Verzeichnisse der eigenthümlichen Thier- und Pflanzenwelt Ceylon's dargethan, dass diese Insel noch gegenwärtig eine hinreichende Selbstständigkeit sich bewahrt hat, was um so eindrucksvoller uns erscheinen muss, als der Anfang eines Zusammenhangs mit dem Festlande durch die Adamsbrücke schon begonnen hat, welche nach dem indischen Epos die alliirten Affenkönige dem Rama bei seiner Invasion der Insel erbauten. Wir haben also in Madagaskar und in Ceylon die letzten Ueberreste vormaliger Weltinseln, die mit unserer Erdfeste nicht verbunden waren, die aber vielleicht ehemals unter sich zusammenhingen und zwar über die Seychellen [1]), granitische Inseln im Norden und in der Verlängerung von Madagaskar gelegen. Da hier die Halbaffen (Lemuriden) zahlreicher als in irgend einem anderen Erdenraume vertreten sind (es finden sich sonst nur wenige verwandte Formen in Hoch- und Westafrika, sowie in der Sundawelt), so hat Sclater vorgeschlagen, jenes verschwundene Festland Lemuria zu nennen. Celebes bezeugt durch seine wenigen anderen Säugethiere, insofern sie Anklänge an afrikanische Formen zeigen, dass es mit den fernen westlichen Ländern einen Zusammenhang genossen haben muss (vgl. S. 395) [2]). Vielleicht gehörten zu jenem äthiopischen Welttheile der Vorzeit auch die Caplande, welche durch eine so eigenthümliche, von dem übrigen Afrika so abgesonderte Pflanzenwelt und durch einen solchen Reichthum an Arten sich auszeichnen, dass ein so grosser Kenner wie Hooker in den Caplanden die Trümmer eines ehemaligen Festlandes sieht, welche Afrika durch sein Hinauswachsen nach Süden sich einverleibt habe. Dass früher die Vertheilung von Wasser und Land in den Räumen des Indischen Oceans und folglich auch die damaligen Klimate ganz andere gewesen sein müssen, scheint uns auch der Umstand zu bestätigen, dass versteinerte Pflanzenreste das Vorhandensein von Waldungen auf der Insel Kerguelen bezeugen, während gegenwärtig dort nur sehr wenige Arten niedriger Gewächse um ihr Dasein ringen.

Werfen wir jetzt einen letzten Blick auf die gewonnenen Ergebnisse, namentlich auf den Umstand, dass die Inseln auf hoher See nur durch Vulcane oder durch die Bauten der Korallen entstehen, wenn sie nicht nachweisbar die Reste der naheliegenden Festlande sind, so

[1]) Nach einem Vortrage von Prof. E. P. Wright auf der Versammlung der British Association im Jahre 1868 sind die granitischen Seychelleninseln, deren höchster Berg auf Mahé bis zu c. 1100 Meter sich erhebt, im Versinken begriffen, da die Korallenriffe weitab vom jetzigen Ufer liegen. Auch sie sind die Heimath einer eigenartigen, wunderliche Riesenfrüchte tragenden Palmengattung (der Lodoicea Seychellarum).

[2]) Alfred Russel Wallace, The Malay Archipelago. London 1869. Vol. I, p. 432 sq.

haben wir einen neuen, schlagenden Grund gegen die schon früher (S. 405 f., 428 ff.) von uns bekämpfte Annahme von Seegebirgen. Läge zwischen Nordamerika und Irland auf der ganzen Strecke, zwischen Guinea und Westindien bis auf etwa 70 Meilen Abstand von letzterem ein Gebirgszug wie der Kaukasus oder die Alpen oder die Felsengebirge, so müssten seine Gipfel als Inseln irgendwo aufragen. Bei unserer Musterung aller oceanischen Inseln haben wir nur Neu-Caledonien und die Seychellen als unvulcanisch und unmadreporisch, beide aber wiederum als wahrscheinliche Reste ehemaliger Festlande erkannt; sonst aber giebt es keine Inseln, die man als die bis an die Luft ragenden Spitzen von Seegebirgen bezeichnen könnte, man müsste denn höchstens an die cordillerenartige Reihenfolge der Koralleninseln denken, von denen wir aber wissen, dass sie von Thieren aufgethürmt worden sind. Erwägen wir, dass die Weltinseln in geschlossenen Massen auftreten, dass das Trockene um den Nordpol angehäuft ist und in grosse Hörner gegen Süden verläuft, beachten wir auch den Umstand, dass an den oceanischen West- und Ostküsten der Festlande alle Halbinseln nach Süden, keine nach Norden hin gerichtet sind (vgl. S. 396 f.), so können wir uns der Vorstellung nicht erwehren, dass die Hebung der gegenwärtigen Weltinseln von einem Kern ausging und beständig nach Norden und Westen fortschritt, die heutigen Festlande unaufhörlich vergrössernd und ihnen reichlich ersetzend, was sie durch seculäre Senkung an einzelnen Rändern verlieren mochten, dass also die Hebung selbst immer vom Trockenen ausging und sich unter das Meer fortsetzte, nicht umgekehrt.

Hinreichende Beweise für viele der hier zuerst aufgestellten Behauptungen lassen sich erst geben, wenn wir die organischen Erzeugnisse der Inseln, ihre Gewächse und ihre Thiere mit denen der Festlande vergleichen werden. Es wird sich dann auch offenbaren, dass auf den Geschöpfen, welche die Inseln bewohnen, ein eigenes Verhängniss ruht, welches sich nicht bloss auf ihre physischen Trachten beschränkt, sondern dem die Bewohner sogar in ihren geschichtlichen Schicksalen, ihren Sitten und ihren Sprachen unterliegen.

XV. Die Thier- und Pflanzenwelt der Inseln[1]).

Unsere letzten Untersuchungen galten einer Unterscheidung der Inseln nach ihrem doppelten Ursprung. Wir erkannten zunächst in vielen die Bruchstücke von Festlanden, sei es, dass ehemalige Weltinseln zu kleineren Körpern zusammengeschrumpft waren, wie dies bei Madagaskar mit den ihm zugehörigen Seychellen und mit Ceylon der Fall gewesen ist, oder indem sich Ränder von Festlanden senkten und durch Ueberfluthung des Meeres eine Abtrennung herbeigeführt wurde oder endlich, dass unter hohen Breiten steile Gestade in Folge von Hebung und Verwitterung in Küsteninseln sich auflösten. Fern von den grossen Weltinseln auf hoher See sahen wir dagegen Inseln nur dann entstehen, wenn unterseeische Vulcane ihre Kegel bis über das Meer aufgeschüttet hatten oder wenn Korallen von der Sohle eines sinkenden Festlandes aus ihre Bauten bis zum Wasserspiegel hinaufführten. Sind diese Vorstellungen in der Natur begründet, so müssen die Bevölkerungen dieser Inseln, d. h. ihre Pflanzen und Thiere, den Menschen nicht ausgeschlossen, uns diesen Ursprung bezeugen. Sie sollten uns deutlich erkennen lassen, ob eine Insel aus dem Schosse des Meeres aufstieg oder ob sie von einem Festland abgesondert wurde. Es müssten auch Unterschiede bemerkbar sein zwischen alten und jungen Inseln, seien sie nun continentalen Ursprungs oder vom Meere geboren worden. Um von jedermann verstanden zu werden, fügen wir sofort hinzu, dass Inseln noch in ihrer Jugendzeit verharren, wenn sie sich vor so kurzer Zeit von einem Festlande absonderten oder von der Sohle des Oceans aufstiegen, dass mittlerweile noch nicht so viele Veränderungen in der belebten Schöpfung unserer Erde, sei es durch Aussterben alter oder Auftreten neuer Thier- und Pflanzenarten ein-

[1]) Den „Neuen Problemen“ (3. Aufl. S. 44—65) entlehnt, zuerst veröffentlicht im Ausland am 19. Februar 1867. Es war nur eine Anzahl kleinerer Aenderungen und Ergänzungen nothwendig.

getreten sind, um in der geologischen Zeitrechnung einen neuen Abschnitt zu beginnen.

Als im Jahre 1690 ein britischer Seefahrer, Namens Richard Simpson, nach den Falklandsinseln gelangte und dort Füchse fand, die ihm nicht verschieden schienen von ihren Vettern an dem patagonischen Festlande, regte ihn dies zu folgenden Betrachtungen an: „Da es nicht wahrscheinlich ist, dass sie von Amerika herüberschwammen und noch weniger, dass irgend jemand um ihre Verbreitung nach den Inseln sich bemüht haben sollte, so muss man aus ihrem Vorkommen schliessen, entweder dass sie doppelt, nämlich in Amerika und auf den Inseln, erschaffen worden seien oder dass die letzteren ehemals mit Südamerika zusammenhingen.“ Wir gewahren also, dass schon der wackere Simpson wegen der Verbreitung einer Säugethierart eine ehemalige trockene Verbindung der Falklandsinseln mit Amerika vermuthete. Die beobachtete Thatsache, die er anführt, kann uns freilich gegenwärtig nicht mehr beunruhigen; denn auf Eisbänken vermögen sich Landthiere sehr weit über das Wasser zu verbreiten; kommen doch gelegentlich Eisbären von Grönland herab bis nach Neufundland! Dass patagonische Füchse auf Eisschollen nach den Falklandsinseln übersetzten, erscheint uns nicht ganz unmöglich, wenn es ihnen auch bei den jetzt herrschenden Seeströmungen nicht mehr verstattet sein dürfte. Ueberhaupt muss eine lange Zeit verflossen sein, dass sie die Inseln bewohnen, da sich der Falklandsfuchs von dem patagonischen durch Artenmerkmale ein wenig unterscheiden soll, so dass also in diesem Falle die Falklandsgruppe zu den alten Inseln gerechnet werden müsste, weil jene Artenwandlung eine lange Zeitdauer erfordert haben würde. Wollte dagegen jemand, was der alte Simpson noch für möglich halten durfte, an einen doppelten Schöpfungsact glauben und überhaupt so viele Einzelschöpfungen annehmen, als wir Tausende und Abertausende von Inseln zählen, dann hört für ihn überhaupt die Möglichkeit auf, aus der Verbreitung der Thier- und Pflanzenarten irgend etwas über die Schicksale ihrer heutigen Wohnstätten zu ermitteln. Uns gilt dagegen, wenn nicht als völlig erwiesen, doch durch alle Erscheinungen im Grossen bekräftigt, dass jede Thier- und Pflanzenart von einem Ursprungsorte, dem sogenannten Verbreitungscentrum, ausging und ihre Nachkommen so weit aussendete, als sie die Bedingungen für ihr Dasein günstig fanden, oder bis sich ihnen irgend eine natürliche Schranke entgegensetzte, sei es ein Meer, eine Wüste, ein hohes Gebirge oder dass sie Gebiete erreichten, die so dicht bevölkert waren mit rüstigen Geschöpfen, dass sie ihnen keinen Raum abgewinnen konnten. Eine solche Ausbreitung der Gewächse und Thiere kann natürlich nur auf dreifache Weise erfolgen: entweder sie wandern,

oder sie fliegen, oder sie schwimmen. Wenn wir also später von wandernden Säugethieren sprechen sollten, so wird man solche verstehen, die weder schwimmen wie Walfische oder Robben, noch fliegen wie die Fledermäuse.

Hebt sich nun durch Aufschüttung von Vulcanen oder durch den Bau von Korallen eine Insel kahl und unbevölkert über die Meeresfläche, so kann sie offenbar nicht von Thieren und Pflanzen erreicht werden, die sich nur durch Wanderung verbreiten. Schlangen, Kröten und Frösche wandern; aber sie fliegen und sie schwimmen nicht; ja, der Frosch- und Krötenlaich wird obendrein vom Seewasser rasch zerstört. Sie vermögen also neu aufgetauchte Inseln nicht zu erreichen, es käme ihnen denn der Zufall, d. h. eine seltene Verknüpfung günstiger Gelegenheiten, zu statten, wie wir davon etliche Beispiele sogleich anführen werden. Wäre also unsere Anschauung von der Jugend der Koralleninseln richtig, so könnte sich auf den polynesischen Atollen weder eine Schlange, noch ein Frosch, noch eine Kröte befinden, ja nicht einmal vierfüssige Thiere, es seien denn solche, welche die Menschen als Zuchtthiere mitgebracht hätten oder die ihnen bei ihren Seefahrten verstohlen zu folgen pflegen, wie es von den Ratten geschieht.

Und in der That ist es genau so, wie wir es geschildert haben, und nicht bloss auf den jugendlichen Koralleninseln, sondern selbst auf einigen alten Gerüsten von Inselvulcanen. Schon Bougainville wunderte sich, auf Tahiti keine anderen Säugethiere anzutreffen als Ratten, Schweine und Hunde, welch letztere gemästet, ja von den Frauen an den Brüsten genährt wurden, also zu den Hausthieren gehörten. Noch schärfer fasste diese Verhältnisse der unvergessliche Johann Reinhold Forster, der Begleiter Cook's auf seiner zweiten Reise, auf. Nur die Classen der Vögel und Fische, bemerkte er, habe man auf den Inseln der Südsee zahlreich gefunden, von Amphibien nur sechs Arten, nämlich zwei Schildkröten, zwei Wasserschlangen und zwei Eidechsen (Lacerta agilis und L. Gecco), sämmtlich auch anderwärts bekannt [1]). Weniger Insectenarten, heisst es an einer anderen Stelle, als die Südsee-Inseln hervorbringen, werde man schwerlich anderwärts antreffen; nur den gemeinsten und bekanntesten Gattungen sei er begegnet; doch zeichne sich Neu-Caledonien darin wesentlich aus [2]). Seit Forster's Zeit ist die Erforschung der oceanischen Inseln beträchtlich fortgeschritten; doch haben alle neueren Untersuchungen den allgemeinen Eindruck unseres grossen Naturforschers nur be-

[1]) J. R. Forster, Bemerkungen auf seiner Reise um die Welt. Berlin 1873. S. 172.

[2]) J. R. Forster, l. c. S. 173 f.

stätigt. Die Behauptung Bory's de St. Vincent, dass auf den vulcanischen Inseln des Grossen Oceans keine Batrachier (Frösche und Kröten) vorkommen sollen, fand Darwin auch für die Galapagos-Gruppe giltig, welche doch so nahe an Süd- und Centralamerika liegt und bis zu welcher sich sogar die Eidechsen verbreiten konnten, deren Eier freilich durch ihre Kalkschale besser vor der Zersetzung durch das Seewasser geschützt sind. Die Abwesenheit von Landschlangen auf den Südsee-Inseln wurde von H. Schlegel in seiner Herpetologie ebenfalls bestätigt. Die Marianen erschienen ihm als ihre äusserste östliche Grenze, und er setzte daher Zweifel in die Angabe Lesson's, dass sie sich auf Ualan (Carolinen) und auf Rotuma (Fidschi-Archipel) finden sollen [1]. Bei einer genauen Bekanntschaft mit der Fidschigruppe hat man freilich zehn Arten von Landschlangen und sogar einen grossen, dort einheimischen Frosch (Platymantis Vitianus) entdeckt. Wahrscheinlich ist diese Inselgruppe ein Ueberrest eines alten, in's Meer gesunkenen Erdtheils (vgl. hierzu auch S. 503).

Wenn sich übrigens auf älteren vulcanischen Inseln vergleichsweise viele Insecten zusammengeschaart haben, so darf uns dies nicht Wunder nehmen. Wie ausserordentlich weit geflügelte Insecten auf hoher See sich verbreiten, davon überzeugte sich Joseph Banks, als er am 1. März 1769 mit Capitain Cook unter lat. 38° 44′ S. und long. 110° w. L. von Greenwich vom nächsten Land, nämlich von der Osterinsel, 170 geogr. Meilen entfernt war und beim Ausbalgen von Vögeln, die man auf hoher See geschossen hatte, zwei ihm unbekannte Fliegen, wie sie sich in Wäldern aufzuhalten pflegen (forest-flies), entdeckte, die also wahrscheinlich mit den Vögeln selbst auf das Schiff gekommen waren. Sir Edward Parry fand auf seiner denkwürdigen Schlittenbootreise nach dem Nordpol am 18. Juni 1827 unter lat. 82° 27′ ein paar kleine Fliegen auf dem Eis und ein anderes Mal eine Biene. Ferdinand v. Hochstetter hat den Distelfalter nicht nur in allen fünf Welttheilen, sondern selbst auf dem insectenarmen Neuseeland gefangen. Nur solche Schmetterlinge vermögen sich übrigens weit zu verbreiten, deren Larven nicht wählerisch im Futter

[1]) Dass Landschlangen bisweilen als Seefahrer ferne Inseln erreichen können, dafür liegt wenigstens eine gute Beobachtung vor. Nach der antillischen Insel S. Vincent kam einst eine Boa constrictor, um einen frisch abgerissenen Cederstamm geringelt, angeschwommen. Glücklicher Weise wurde sie bemerkt und sofort getödtet. Wäre es ein trächtiges Weibchen gewesen, so hätte sich dieses gefährliche Raubthier des südamerikanischen Festlandes auf jener Insel verbreiten können. Die furchtbare Lanzenschlange wurde auf Martinique und S. Lucia durch Menschen unbeabsichtigt eingeführt. Sir Charles Lyell, Principles of Geology. 12th ed. London 1875. Vol. II, p. 369 sq.

sind. Bisweilen herrscht sogar zwischen der Schmetterlingsbevölkerung zweier nahe gelegenen Inseln die grösste Verschiedenheit. So haben Borneo und Java etwa zwei Drittel ihrer ächten Papilioniden gemeinsam; während aber von den 21 sumatranischen Arten dieser Gattung nicht weniger als 20 auch auf Borneo sich finden, stimmt Sumatra mit dem viel näheren Java nur bei 11 Arten überein. Es hing nämlich ehemals Java mit Borneo, Borneo mit Malakka, Malakka mit Banka und Sumatra zusammen; mittelbar bildeten sie also ein Ganzes, womit nicht gesagt ist, dass wieder die einzelnen Inseln unmittelbar mit einander verbunden gewesen wären. Zuerst trennte sich Java von Borneo, dann Banka von Malakka, dann Malakka von Borneo und später von Sumatra [1]).

Die strengen Untersuchungen Wallace's über den Indischen Archipel [2]), deren Endergebnisse wenigstens für die westliche Hälfte desselben soeben mitgetheilt wurden, sind in so hohem Grade lehrreich, dass wir es uns nicht versagen können, wenigstens einige Hauptzüge aus ihnen noch hervorzuheben. Wir erkennen hier deutlich, wie durch die frühere oder spätere Losreissung der Inseln von dem Continent ihrer Thierwelt ein bestimmter Charakter aufgeprägt wurde. Auf der Zinninsel Banka haust ein eigenthümliches Eichhörnchen (Sciurus bangkanus); ebenso sind dort ganz besondere Bodendrosselarten aus der Gattung Pitta heimisch. Daraus schliesst Wallace, Banka möchte vielleicht in einer früheren Zeit Insel geworden sein als Borneo oder Sumatra. Dies wird noch glaubhafter dadurch, dass das vor Banka nächstliegende Land, nämlich das Gebiet um Palembang, junger, aufgeschwemmter Marschboden ist und Banka's Gebirge wiederum aus Granit und Laterit bestehen, genau wie die Höhenzüge der Halbinsel Malakka, mit denen es zusammenhing. Haben Sumatra und Borneo, allem Anschein nach, ehemals nur über die Halbinsel Malakka eine trockene Verbindung besessen, so ist es noch lehrreicher, dass Sumatra wohl mit Borneo in seinem Schöpfungsinventar so vielfach übereinstimmt, von dem so dicht benachbarten Java dagegen sich weit entfernt. Sumatra und Borneo haben den Elephanten, den Tapir, den malayischen Bär gemeinsam, die auf Java fehlen. Eine Menge Vögel, die Sumatra, Malakka und Borneo gemeinsam sind, fehlen auf Java; dafür hat dieses wieder eine Menge eigener Arten. Von seinen

[1]) Alfred Russel Wallace, The Malay Archipelago. London 1869. Vol. I, p. 19.

[2]) Alfred Russel Wallace: On the physical Geography of the Malay Archipelago in dem Journal of the R. Geogr. Society of London 1863, p. 217 — 234, weiter ausgeführt in dessen Malay Archipelago. London 1869.

sieben Tauben besitzt Sumatra nur eine; von seinen zwei Papageien (parrot, Psittacus) hat Sumatra keinen, Borneo nur einen einzigen aufzuweisen. Von 15 sumatranischen Spechten gehen nur 4 nach Java, aber 8 nach Borneo und 12 nach Malakka hinüber.

Auch Gewächse können neu auftauchende Inseln nur schwimmend oder fliegend erreichen. Zum Fliegen sind die Samen mancher Arten mit Flügeln, Federbüschen, Haarkronen und kleinen Fallschirmen versehen. Doch darf man, wie der jüngere de Candolle gewarnt hat, die Tragweite dieser Bewegungswerkzeuge nicht überschätzen. Es ist übrigens gar nicht nöthig, dass die Samen selbst fliegen, sondern sie können auch zu ihrer Luftfahrt Vögel benutzen. So hat Charles Darwin die Thatsache mitgetheilt, dass aus einem Ballen Erde am Schenkel eines Rebhuhns nicht weniger als 82 Pflanzen verschiedener Arten aufgingen. Wir wissen ferner, dass manche Früchte von Vögeln gefressen und unverdaut wieder ausgeschieden werden. Viele solcher Samen gehen durch den Darmcanal der Thiere, ohne ihre Lebenskraft zu verlieren; ihre harte Schale wird vielmehr durch die Beize des Magensaftes zu Gunsten des Keimes erweicht. Um junge Weissdornpflanzen schneller aufzuziehen, bemerkt Karl Nägeli, giebt man in England ihre Früchte den Truthühnern zur Nahrung und säet dann den Vogeldünger mit den darin enthaltenen Samen aus, welche nach dieser Behandlung sogleich zu keimen beginnen. Dagegen können Pflanzenarten nur dann die See durchschwimmen und ferne Inseln bevölkern, wenn ihre Samen im Salzwasser die Keimkraft nicht verlieren. Zu den wenigen in diesem Sinne begünstigten gehört bekanntlich die Cocospalme, deren Nüsse weite Seereisen ungefährdet zurücklegen, daher denn auch jene Palme zu den frühesten und gemeinsten Erscheinungen auf den Koralleninseln zählt. Pflanzensamen können übrigens vermittelst eines Fahrzeuges, das heisst getragen von einem schwimmenden Baumstamm, grössere Seereisen mit geringerer Lebensgefahr überstehen. Aber nicht bloss Holz, sondern selbst Mineralien vermögen ihnen bisweilen den Dienst eines Flosses zu erweisen. Als Bates den unteren Amazonas beschiffte, überraschte ihn eine Menge Bimssteinbrocken, welche nach dem Atlantischen Meere hinausschwammen. Es waren dies Auswürflinge eines Vulcanes der quitenischen oder peruanischen Anden, welche die Quellflüsse des grossen Stromes vielleicht mehr als 500 geogr. Meilen verfrachtet hatten. Verbargen sie, wie es nicht anders zu erwarten war, Pflanzensamen, so konnten diese bis zum Meer hinaus, ja mit dem Küstenstrom der süssen Amazonaswasser bis nach Guayana und weiter gelangen, und ihr gleichzeitiges Vorkommen an den atlantischen Gestaden und in den äqua-

torialen Cordilleren hätte dann zu den grossen Räthseln der Pflanzengeographie gehört, wenn das seltsame Verkehrsmittel noch nicht von einem Naturforscher beobachtet worden wäre.

Von den 120 bis 180 000 Arten blühender Pflanzen, die man zu benennen und zu unterscheiden versucht hat, geniesst aber nur ein unendlich kleiner Bruchtheil die Vergünstigung, fliegend oder schwimmend sich zu verbreiten; alle übrigen Arten sind gewandert. Junge Inseln müssten daher, wenn unsere Vorstellungen mit der Natur übereinstimmen, erstens sehr arm an Gewächsarten sein; zweitens müssten die vorhandenen Gewächsarten sich anderswo und zwar am nächstgelegenen Festlande finden [1]). In der That verhält es sich auch genau so, wie man von vorn herein vorauszusetzen geneigt wäre. Darwin fand auf den Keeling-Inseln im Südwesten der Sundastrasse nur 20 Gewächsarten; nicht mehr Arten konnte Johann Reinhold Forster auf der vulcanischen Osterinsel einsammeln. Anderson, der Begleiter Cook's auf seiner dritten Reise, zählte auf Kerguelen, einer alten Vulcaninsel, 18 Pflanzenarten einschliesslich mehrerer Flechten. Als Hooker mit dem jüngeren Ross die nämliche Insel besuchte, entdeckte er noch etliche andere phanerogame Gewächse, so dass sich die Zahl der blühenden Pflanzen auf 18 hob [2]). Die südlich von Kerguelen gelegenen Macdonald-Inseln beherbergen nur Pflanzen, welche auf Kerguelen heimisch sind [3]). Die kleine Insel Ascension im Atlantischen Ocean zählte nach Darwin [4]) zur Zeit ihrer Entdeckung keine 6 Phanerogamenarten. Die Insel St. Paul, beinahe in der Mitte zwischen der südamerikanischen und afrikanischen Küste, weist keine anderen Pflanzen auf als Algen, welche durch 14 Species vertreten sind [5]). Auf der Chatham-Insel der Galapagos-Gruppe konnte Darwin nur 10 Pflanzenarten sammeln, und ihr Ansehen erschien ihm so kümmerlich, als ob sie der Flora des Polarkreises und nicht der des Aequators angehört hätten. Freilich sollten wir von vorn herein darauf gefasst sein, einer gewissen Armuth an Arten auf kleinen Inseln zu begegnen; denn je enger der Raum, desto weniger Manigfaltigkeit wird in der Schöpfung herrschen. Die Atollinseln der tropischen Meere zumal sind eine ungastliche Stätte für die Gewächse. Auf

[1]) Vgl. hierzu die vortreffliche Arbeit L. Kny's „Ueber die Flora oceanischer Inseln" in der Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin. Bd. II (1867), S. 208—227.

[2]) London Journal of Botany 1843, p. 263.

[3]) Petermann's Mittheilungen 1874, S. 461. Behm's Geographisches Jahrbuch. Bd. VI (1876), S. 284.

[4]) Origin of Species. London 1861. p. 420.

[5]) Nature, Vol. IX, Nr. 232. 9. April 1874, p. 450.

ihrem Korallensande gedeihen vorzugsweise nur kalkliebende Pflanzen; die Brandung erstürmt nicht selten ihren Standort, und in der Luft zerstäubt das Salzwasser. Vielen Pflanzen mag das erwünscht sein; den meisten aber bringt es sicheren Tod. Wenn wir indessen hören, dass Ramond auf dem Gipfel des Pic du Midi de Bagnères auf einer Oberfläche von 200 Quadratmetern nicht weniger als 71 Blüthengewächse fand, dass auf den eintönigsten Mooren Schottland's auf einer englischen Quadratmeile 50 bis 100 Gewächsarten blühen und selbst in der Umgebung von London, deren botanische Dürftigkeit sehr gross ist, immerhin noch 400 blühende Pflanzen auf einer englischen Quadratmeile angetroffen werden, so muss uns die Armuth der jungen Inseln an Arten ein Beweis sein, dass sie ihre vegetabilische Bevölkerung nur der Gnade seltener Zufälligkeiten verdanken.

Viel bedeutsamer ist aber noch ein anderer Umstand. Setzt man die Zahl der bekannten Arten blühender Pflanzen auf 150 000 an, so kommen auf eine Gattung im Durchschnitt 12 und auf eine Familie im Durchschnitt 300 Arten. Auf den grossen Weltinseln und selbst auf den grösseren Inseln findet man in der Regel die Gattungen durch mehrere Arten vertreten. Der Artenreichthum der Gattungen nimmt gewöhnlich von einem inneren Herde nach der Peripherie ab. Auf den Keeling-Inseln, die immer als das beste Beispiel von den jungen Koralleninseln gelten können, gehören die 20 vorhandenen Pflanzenarten 19 verschiedenen Gattungen und 16 verschiedenen Familien an. Wir gewahren also, dass hier Gattungen und Familien nur durch wenige Arten vertreten sind, weil es nur ausnahmsweise vorkommt, dass Pflanzensamen schwimmend oder fliegend eine ferne Insel zu erreichen vermögen. Auch finden wir die Gewächse der Keeling-Inseln sämmtlich auf den nahen Sunda-Inseln und in Australien wieder, weshalb man mit Recht solche Inseln als Asyle oder Zufluchtsstätten versprengter oder gestrandeter Gewächsarten bezeichnet hat. Die Vegetation der oceanischen Inseln trägt überhaupt, trotz mancher Sonderheiten im Einzelnen, doch meistens die Charakterzüge der benachbarten continentalen Vegetationsgebiete an sich. So ist die Flora der Azoren mit der des europäischen Festlandes verwandt, die der Bermudas-Inseln mit derjenigen der südlichen Vereinigten Staaten. In ähnlichen Beziehungen zu einander stehen die Canarischen und Capverdischen Inseln zur Westküste von Afrika und die Galapagos-Inseln, obwohl ihre Pflanzenformen grösstentheils specifisch verschieden sind von denen des benachbarten Festlandes, zur Westküste Südamerika's [1]).

Nicht selten zeigt die Flora der Inseln auf hoher See die grössten Aehnlichkeiten mit den Gewächsen derjenigen Ländergebiete, welche

[1]) L. Kny, l. c. S. 212.

ihnen durch die herrschenden Luft- und Meeresströmungen Muster ihrer Arten zusenden können. So sind die Gewächse von St. Helena und Ascension viel weniger denen des tropischen Afrika als denen der Caplande ähnlich, obgleich die letzteren viel ferner liegen; Passatwinde und Meeresströmungen verbinden sie aber viel besser mit Südafrika als mit den näherliegenden äquatorialen Theilen dieses Continentes. Das südatlantische Tristan da Cunha gleicht durch seine Gewächse, wie Hooker gezeigt hat, dem Feuerlande weit mehr als Afrika, und dies ist sogar mit der Kerguelen-Insel im südindischen Ocean der Fall, obwohl dieses von Südamerika dreimal soweit entfernt ist als vom Caplande. Wahrscheinlich vermitteln mit samenhaltiger Erde beladene Eisberge, welche von den Gletschern des Feuerlandes in östlicher Richtung ihren Weg nehmen, den Transport der vegetabilischen Colonisten nach den Inseln des südindischen Oceans [1]. Die nordostwärts von Kerguelen gelegene Insel Neu-Amsterdam beherbergt eine Anzahl Pflanzen (Phylica arborea, ferner Spartina arundinacea, eine hohe Graminee, und von den Farnen eine Lomaria), die ausserdem nur noch auf Tristan da Cunha wachsen; auch in diesem Falle sind wir darauf hingewiesen, in den Meeresströmungen die Träger der betreffenden Keime zu vermuthen [2].

Charles Darwin wollte gefunden haben, dass diejenigen Inseln der Südsee, von denen man weiss, dass sie gegenwärtig oder in der jüngsten Vergangenheit eine Hebung erlitten haben, reicher an Pflanzenarten sein sollen als diejenigen, von denen man weiss, dass sie sinken. Es zeigt sich indessen, dass die Freundschafts-Inseln, welche zu den aufsteigenden gehören, keinen grösseren Reichthum an Arten besitzen als die allem Anschein nach sinkende oder wenigstens ruhende Fidschigruppe, und das Nämliche lehrt ein Vergleich der Pflanzenwelten auf den Neuen Hebriden und auf Neu-Caledonien, von denen die einen steigen, das andere sinkt. Das Wahre an der Beobachtung Darwin's liegt wohl darin, dass hohe Inseln wegen der Verschiedenheit ihrer Standörter weit mehr Gewächsarten eine Zufluchtsstätte bieten können als die niedrigen Koralleninseln. Da nun die meisten hohen Inseln Vulcane tragen und unter der Mehrzahl der vulcanischen Inseln eine Hebung bemerkt wird, so lag es sehr nahe, der Hebung zuzuschreiben, was der senkrechten Gliederung zukommt.

Alte Inseln werden immer einen grösseren Reichthum an Arten besitzen als junge, schon deswegen, weil die alten Inseln auf hohem

[1] L. Kny, l. c. S. 212. A. Grisebach, Die Vegetation der Erde. Leipzig 1872. Bd. II, S. 548.

[2] A. Grisebach in Behm's Geographischem Jahrbuch. Bd. VI (1876) S. 282 ff.

Meere entweder die Reste von Festlanden oder die Gerüste einst thätiger Vulcane, also hohe Inseln sind, während die niedrigen Koralleninseln zu den jungen Schöpfungen gehören. Eine je längere Zeit verstrich, seit sich eine Insel von der Sohle des Oceans durch vulcanische Kräfte bis in den Luftkreis erhob, desto reicher wird sie an Gewächsarten sein, weil in einem langen Zeitraum die zufällige Verknüpfung günstiger Umstände zur überseeischen Versendung von Pflanzenindividuen öfter wiedergekehrt sein muss. Wäre diese Voraussetzung richtig und gäbe es alte Inseln, die schon in der tertiären Zeit aus dem Schosse des Meeres gehoben wurden, so müssten Gewächse jener geologischen Vorzeit schwimmend oder fliegend sich in ihren Schoss gerettet und sie müssten auf solchen Inseln nicht bloss eine gastliche Aufnahme, sondern auch Schutz vor den Feinden der geologischen Gegenwart gefunden haben, die auf den Festlanden nach und nach ihre Art bis auf die letzten Einzelwesen vertilgten. Und in der That ist es auch genau so, wie man es voraussetzen durfte. Der grosse Züricher Paläontolog Oswald Heer sah sich auf Madeira in die botanische Tertiärzeit versetzt; er fand dort Pflanzentrachten, welche die Flora der Continente längst schon abgelegt hat, alterthümliche Organismen, für welche Darwin den glücklichen Ausdruck gebraucht, es seien „lebendige Petrefacten". Bemerkenswerth ist in unserem Falle noch, dass die meisten der hier vorkommenden Gattungen jetzt dem amerikanischen Continent, viel weniger dem europäischen, asiatischen und afrikanischen Festlande eigenthümlich sind. Zu den „altmodischen" Pflanzengestalten auf Madeira, den Canarien und den Azoren gehören die Clethra- und Persea-Arten, die sonst nur in Amerika angetroffen werden. Uralt, vielleicht der letzte reine Ueberrest der Miocänflora, ist die Monizia edulis Madeira's; sie gehört zu einer Gattung, die sonst nirgends in der Welt noch einen Vertreter besitzt und erscheint uns gewissermassen wie „ein Märchen aus alten Zeiten". Sie ist eine Umbellifere mit einem Stamme wie ein umgekehrter Elephantenrüssel, gekrönt mit einem Büschel, dessen Laub der Petersilie gleicht [1]). Welches Schicksal derartigen Pflanzen droht, werden wir später an mehreren Beispielen zeigen. Hier wollen wir nur im Voraus bemerken, dass von den Thieren dasselbe gilt wie von den Gewächsen und von den Menschen dasselbe wie von den Thieren. Wenn der Racentod alle Urbewohner der Südsee-Inseln, ja selbst einer Weltinsel wie Australien, vielleicht noch vor Ablauf des gegenwärtigen Jahrhunderts vertilgt haben wird, so kann man auch von allen diesen Menschen-

[1]) Sir Charles Lyell, Principles of Geology. 12th ed. (1875). Vol. II, p. 422 sq.

stämmen behaupten, sie seien, als sie mit den Continentalvölkern wieder in Berührung kamen, nichts anderes gewesen als beseelte Fossilien.

Inseln, die sich von einem Festlande ablösten, müssen sich umgekehrt verhalten denen gegenüber, welche dem Schosse des Meeres entstiegen sind. Je jünger solche Trümmer der Continente sind, um so reicher, je älter und je kleiner, um so ärmer werden sie an Thier- und Pflanzengestalten werden. Zu den frisch abgelösten Inseln haben wir die britischen gerechnet. Sie sind vergleichsweise ebenso reichlich mit Thier- und Pflanzentrachten ausgestattet wie das Festland, dem sie noch vor kurzer Zeit angehörten. Umgekehrt befindet sich auf den britischen Inseln nicht ein Thier und nicht ein Gewächs in der Freiheit, welches nicht auch auf dem europäischen Festlande sich vorfände oder dessen Einwanderung nicht geschichtlich nachgewiesen werden könnte, und zwar sind darunter die sogenannten skandinavischen, germanischen, gallischen und asturischen Formen genau an denjenigen Küsten anzutreffen, welche den Ländern gegenüber oder am nächsten liegen, wo die gemeinsamen Gestalten auftreten.

Die Manigfaltigkeit der Geschöpfe auf Inseln muss sich aber deswegen verringern, weil keine aussterbende Art durch Zuwanderung aus einer festländischen Zufluchtsstätte sich von neuem wieder ausbreiten könnte. Bisweilen raffen geheimnissvolle Zerstörungsursachen Thiergeschlechter hinweg. Wir erinnern an das jähe Verschwinden des flügellosen Alk (Alca impennis), der in Nordeuropa noch im Mittelalter alle Küsten in grossen Schaaren bevölkerte und der jetzt ganz verschwunden ist[1]). Tritt ein solcher Tod auf dem Festlande ein und erhalten sich an einer geschützten Oertlichkeit nur wenige Individuen, so kann an eine Wiederbevölkerung nach Abzug der zerstörenden Ursache gedacht werden; erlischt aber eine Gewächs- oder Thierart auf einer Insel durch einen Massentod, so kehrt sie nie wieder, wenn sie weder fliegt, noch schwimmt, noch ein seltener Zufall ihr zu statten kommt. Die cimbrische Halbinsel war ehemals mit Nadelhölzern bewachsen, die jetzt von Laubholz völlig verdrängt worden sind. So lange sie Halbinsel bleibt, stünde einer Rückwanderung der Nadelhölzer nichts im Wege; würden sich jedoch vorher Jütland und Schleswig als Inseln abtrennen, dann wären bedenkliche Schwierigkeiten vorhanden. Wären die britischen Inseln zur Eiszeit schon Inseln gewesen und wären damals alle Pflanzen und Thiere bis auf die arktischen zu Grunde gegangen, so hätten nach der überstandenen Eiszeit die Geschöpfe wärmerer Klimate wohl nach Nordeuropa, nicht aber, oder nur

[1]) Vgl. G. G. Winkler, Island. Seine Bewohner, Landesbildung und vulcanische Natur. Braunschweig 1861. S. 16 f.

theilweise, nach den britischen Inseln zurückwandern können. Da dies nun wirklich geschehen ist, so darf man schliessen, dass der Einbruch der Nordsee und der Durchbruch des Aermelcanals erst nach dem Abzuge der Eiszeit erfolgten. Aus obigen Erwägungen erklärt sich auch die Artenarmuth der Küsteninseln Schottland's, die dem jüngeren de Candolle aufgefallen war.

Kleine Inseln, die durch Spaltungen sich von grösseren Festlandmassen ablösen, müssen auch noch aus einem anderen Grunde rasch verarmen. Eine Ablösung bringt nämlich stets auch klimatische Aenderungen mit sich: die Winter werden milder, die Sommer kühler, die Niederschläge häufiger. Eine Menge festländischer Gewächse vermag den Uebergang zu dem Inselklima nicht zu überstehen; sie gehen daher unter und mit ihnen die von ihnen abhängige Thierwelt. Was auf Inseln untergeht, lässt sich aber schwer ersetzen, während auf dem Festlande durch Wandern Pflanzen und Thiere ungünstigen Wechseln entfliehen und nach Rückkehr besserer Zeiten ihre alte Heimath wieder aufsuchen können. Dadurch rechtfertigt sich wiederum, dass der ältere de Candolle ein Vorwalten der Feuchtigkeit liebenden Monokotyledonen vor den Dikotyledonen auf Inseln wahrnahm. Es beträgt nämlich das Verhältniss dieser beiden Classen der Gewächse:

		Auf dem nächsten Festlande
Auf Jamaica	100 : 194	unter gleicher Breite 1 : 4
„ St. Helena	100 : 103	„ „ „ 1 : 4
„ Tristan da Cunha .	100 : 49	„ „ „ 1 : 3.

Geräumige Inseln verhalten sich indessen wie die Festlande; denn sie werden ihren Bewohnern immer eine grössere Anzahl von begünstigten Zufluchtsstätten bieten. Wenn daher Schouw[1]) Island als Beispiel einer artenreichen Insel anführt, so lässt sich dies ohne Zwang mit unseren Ansichten in Einklang setzen. Island gehört zu den geräumigen, es gehört zu den alten und zu den hohen Inseln, wo die Verschiedenheit der Standörter die Manigfaltigkeit der Pflazenwelt begünstigte und wo es nie an Schutzwinkeln gefehlt haben kann, wenn physikalische Wechsel zu überstehen waren[2]).

Nicht weniger gilt das oben Ausgesprochene von der Thierwelt. In Irland fehlt der Hase, das Eichhorn, das Murmelthier, der Hausmarder, der Maulwurf, die in England vorkommen; ebenso sind nur

[1]) Grundzüge einer allgemeinen Pflanzengeographie. Berlin 1823. S. 494.

[2]) Höchst merkwürdig und schwer zu erklären ist dagegen der Reichthum der insel Borkum, die von unseren Nordseegestaden doch erst in einer kurzen Vergangenheit abgetrennt wurde, an Pflanzen, die dem gegenüber liegenden Festlande fehlen. Hermann Guthe, Die Lande Braunschweig und Hannover. Hannover 1867. S. 10.

fünf Reptilien vorhanden statt elf, wie in England[1]). Immerhin ist das Thierleben Irland's noch ein äusserst reiches gegen das der kleinen Färöer. Sie besitzen ausser einigen Arten der Gattung Mus, welche den Schritten des Menschen überall hin folgen, keine in der Freiheit lebenden Säugethiere; Reptilien und Amphibien fehlen gänzlich. Dagegen zeigen sich Fische verschiedener Arten an den Küsten und steigen in beträchtlicher Anzahl die Flüsse hinauf[2]).

Erschwert die Insularität eines Erdraumes seine Wiederbevölkerung mit wandernden Pflanzen und Thieren, so schützt sie umgekehrt ihre Bewohner vor den Einbrüchen verheerender Thier- und Pflanzenhorden. Alterthümliche Trachten der Schöpfung, die auf dem Festlande schon der Versteinerungskunde verfallen sind, vermögen daher ihr Dasein auf Inseln zu verlängern. Fast alle älteren Inseln, selbst die kleinsten, besitzen daher eine Anzahl endemischer Pflanzen- und Thierarten, die sich durch Abweichungen von ihren nächsten Verwandten auf dem Festlande unterscheiden. Aehnlich wie die Inseln zum Festland verhalten sich wegen ihrer Isolirung die Süsswasserseen und selbst die Flüsse zum Wasser im allgemeinen. Wie Darwin uns belehrt, haben sich daher im Süsswasser die ältesten Thiergestalten erhalten, z. B. sieben Gattungen der Knorpelfische (Ganoiden) und solche lebendige Antiquitäten wie der Lepidosiren und das Schnabelthier (Ornithorhynchus). Ist die Insel nur geräumig genug, so kann sie mehr als die Hälfte der Formen eines untergegangenen Festlandes aufnehmen. Madagaskar, in dem wir eine zusammengeschrumpfte Weltinsel erkennen, besitzt an seiner Ostküste, wie wir schon bemerkt haben, eine eigene Fauna, namentlich ausgezeichnet durch Reptilien und mehrere Gattungen von Halbaffen. Noch merkwürdiger ist das Verhalten von Australien, welches seinen Zusammenhang mit Asien und mit Europa erst in der tertiären Zeit verlor. Es hat sich nicht nur aus jener Vergangenheit eine eigenthümliche und fremdartige Pflanzenwelt gerettet, sondern von seinen 131 Landsäugethieren gehören nicht weniger als 102 den Beutelthieren an, die in Europa in der Tertiärzeit noch vorhanden waren, jetzt aber überall ausgestorben sind, mit Ausnahme einer einzigen Gattung (Didelphys) in Amerika. Sonst fehlen nach Andreas Wagner Australien alle Affen, alle Raubthiere mit Ausnahme des neuholländischen Hundes (Dingo), der aber nicht frei ist von dem Verdacht einer künstlichen Einfuhr; es mangeln alle Hufthiere, alle Zahnlücker, und nur die Zahnlosen wie die Nagethiere sind neben den Fledermäusen vertreten. Was die letzteren betrifft, so haben sie

[1]) Charles Martins, Von Spitzbergen zur Sahara. Jena 1868. B. I, S. 226.

[2]) Ausland 1872, S. 1055.

eine ausserordentlich weite Verbreitung, auch über die polynesischen Inseln und bis nach Neuseeland; aber da sie zu den Geschöpfen gehören, deren Ortsbewegung in der Luft stattfindet, so können sie uns auch nicht als Zeugen dienen, ob die Insularität eines Erdraumes in früheren oder in späteren Zeiten eingetreten sei. Australien ist also die älteste der Weltinseln, d. h. derjenige Erdraum, dessen Geschöpfe noch die Trachten der geologischen Vorzeit nicht abgelegt haben.

Die Naturgrenze, welche Australien und seinen Zubehör an Inseln von Asien scheidet, ist eine über 100 Faden tiefe Strasse, welche, an einer Stelle nur 4 geographische Meilen breit, die asiatische Insel Bali von der australischen Insel Lombok und weiterhin Borneo von Celebes scheidet (s. Fig. 77 auf S. 502). Die drei grossen Inseln Borneo, Sumatra und Java haben noch in einer geologisch ganz jungen Zeit zu Asien gehört; denn der Elephant und Tapir auf Sumatra und Borneo, das sumatranische und das ihm ganz nahe stehende javanische Nashorn, die wilden Rinder auf Borneo und auf Java sind sämmtlich jetzt als Bewohner Südasien's angetroffen worden. Auf Borneo sind die Wälder gefüllt mit mancherlei Affenarten, Wildkatzen, Zibethkatzen, Rothwild, sowie Schaaren von Eichhörnchen; auf Celebes fehlen diese alle gänzlich. Hier finden sich überhaupt nur 14 Arten von Säugethieren (ungerechnet 7 Arten Fledermäuse), unter ihnen einige merkwürdige, schon früher erwähnte Gestalten, nämlich ein pavianartiger Affe (Cynopithecus nigrescens), ferner ein antilopenartiges Rind (Sapi-utan) und das Hirschschwein (Babirussa), ein Cuscus (eichhörnchenartiges Beutelthier) mit Greifschwanz u. a. Die einheimische Vogelwelt ist eine völlig australische, während auf Borneo die asiatischen Charakterarten auftreten. Aehnliche Gegensätze wie zwischen Borneo und Celebes bietet die Thierwelt von Bali und Lombok dar; nur rücken sie hier räumlich einander noch näher, da nur eine 4 geogr. Meilen breite Strasse beide von einander trennt. Trotzdem sind selbst die Vögel auf beiden Seiten ganz verschiedene. Auf Bali finden sich noch asiatische Vögel; auf Lombok hingegen giebt es Cacadus, Honigsauger, Grossfüsse (Megapodii) in Ueberfluss, welche auf Bali und allen westlichen Inseln fehlen [1]).

Höchst auffallend muss es jedoch erscheinen, dass die Flora des Indischen Archipels überall, mit Ausnahme der Gruppe von Timor und der Insel Neu-Guinea, deren Florencharakter sich zwischen den Ostindien's und Australien's stellt [2]), einen ausgeprägt indischen

[1]) Alfred Russel Wallace, The Malay Archipelago. Vol. I, p. 18 sq. 432.

[2]) Oscar Drude in Behm's Geographischem Jahrbuch. Bd. VII (1878), S. 212 f.

Charakter an sich trägt; es stimmen demnach die Grenzen gewisser Pflanzen- und Thierformen hier durchaus nicht mit einander überein. Wie soll man sich nun diese Disharmonie erklären?

A. Grisebach[1]) sucht dieses Räthsel in folgender Weise zu lösen: Pflanzen und Thiere nehmen eine verschiedene Stellung zur Aussenwelt ein. Nach ihrer Organisation sind die ersteren vom Klima abhängiger, die letzteren von der Vegetation, die ihnen zur Nahrung dient. Nun ist das Klima eines Landes durch die Gestalt der Küsten und das Relief des Bodens bedingt. War also der östliche Theil des Archipels einst ohne seine Gebirge und zugleich noch mit Australien verbunden, so musste sein Klima und somit auch seine Vegetation eine australische sein. Mit der Aenderung des Klima's verschwand auch die damalige Vegetation; eine neue Flora von indischem Charakter entstand, während die Fauna, weil sie vom Klima unabhängiger ist, den früheren Typus länger zu bewahren vermochte. Vielleicht ist die jetzige Periode ein Zeitalter, in welchem die australischen Thierformen Neu-Guinea's nach und nach aussterben, um anderen Thiergestalten Platz zu machen, weil die Dschungeln ihrer Ernährung nicht entsprechen. In der That zählt Wallace[2]), indem er Neu-Guinea und die benachbarten Inseln zusammenfasst, nur 17 Säugethiere, worunter 14 Beutelthiere enthalten sind (ausser diesen 2 Fledermäuse und ein Schwein). Dagegen entstanden in anderen Thierklassen bereits neue Formen, welche der heutigen Vegetation entsprechen, so die Paradiesvögel, die in Australien unbekannt sind.

Noch einfacher dünkt uns folgende Erklärung zu sein: Die Vegetation eines Landes ist ohne Zweifel stets dem Thierleben, welches sie ernährt, in der geologischen Entwicklung voraus. Demnach ist auch die heutige indische Flora vor der jetzigen südostasiatischen Thierwelt auf dem Schauplatze der Natur erschienen, und sie fand demnach wahrscheinlich noch Pfade nach den östlichen Theilen jenes Archipels vor, welche bei dem späteren Auftreten der Thiere bereits unter Wasser gesetzt waren. Somit war diesen ein Vordringen in die östliche Hälfte des Archipels nicht mehr möglich.

Wenn auch jünger als Australien, so doch seit langer Zeit von diesem getrennt ist die Insel Tasmanien, deren Pflanzenwelt sich zwar nicht erheblich von der australischen unterscheidet, deren Landvögel und Süsswasserfische, deren Säugethiere, namentlich durch die Seltenheit von Vertretern der placentalen Ordnungen, uns schliessen lassen, dass Tasmanien sich vor geraumer Zeit von Australien abgesondert haben muss.

[1]) Die Vegetation der Erde. Leipzig 1872. Bd. II, S. 68—70.

[2]) l. c. Vol. II, p. 428.

Als Insel viel älter noch als Tasmanien erscheint uns Neuseeland, welches (wenn überhaupt) nur in einer sehr fernen Zeit mit Australien trocken befestigt gewesen sein kann. Neuseeland besitzt an Säugethieren nur zwei Fledermäuse, etliche Seesäugethiere, die Maori-Ratte (Kiore), welche jedoch mit den Eingeborenen einwanderte und von der eingedrungenen europäischen (norwegischen) Ratte bereits fast gänzlich verdrängt ist, und ein von Haast aufgefundenes otterähnliches Thier, von den Eingeborenen Waitoreke genannt, also keine „wandernden“ Säugethiere. Auch unter den Vögeln, deren Artenzahl etwa 100 beträgt, finden sich viele merkwürdige, Neuseeland eigenthümliche Gestalten, namentlich die flügellosen oder vielmehr nur mit Flügelrudimenten versehenen Kiwis und Moas, von denen die ersteren nicht grösser sind als ein Huhn, während die letzteren, die übrigens längst ausgestorben sind, wahre Riesengestalten besassen. Was die Amphibien betrifft, so ist das gänzliche Fehlen von Schlangen, Schildkröten und, mit Ausnahme eines einzigen, erst in neuerer Zeit aufgefundenen Frosches (Leiopelma Hochstetteri), auch das Fehlen der Batrachier höchst auffallend [1]. Auch die Pflanzenwelt ist eine ganz eigenthümliche; obwohl der australischen verwandt, fehlen ihr doch gerade die Charaktererscheinungen dieses Continents, während einige Gattungen sogar Aehnlichkeit mit südamerikanischen Typen verrathen [2]. Neuseeland bietet vortreffliche Gelegenheit, sich einen Begriff von den landschaftlichen Eindrücken der geologischen Vergangenheit zu bilden. „Im Innern der neuseeländischen Wälder,“ lesen wir bei Ferd. v. Hochstetter (S. 418), „ist es düster und todt; weder bunte Blüthen, noch bunte Schmetterlinge, noch Vögel erfreuen das Auge oder geben Abwechslung; alles Thierleben scheint erstorben, und so sehr man sich auch nach dem Walde gesehnt, so begrüsst man doch mit wahrem Wonnegefühl nach tagelanger Wanderung durch diese düsteren, öden Wälder wieder das Tageslicht der offenen Landschaft.“ So freudelos erscheinen uns Erdräume, wo zwischen den stummen und stillen Pflanzengestalten keine Creatur durch Laute ihre Lust am Dasein zu erkennen giebt.

Auch die Grossen Antillen gehören zu den Inseln, die sich schon vor langer Zeit von dem Festland abgesondert haben. Hinsichtlich ihrer Flora und Fauna stehen sie dem nordamerikanischen Continent ungeahnt fern, während sie mehr Anklänge an die mittel- und südamerikanische Pflanzen- und Thierwelt darbieten. Als die spanischen Entdecker sie betraten, fanden sie von Landsäugethieren (die Fledermäuse immer abgerechnet) nur vier oder fünf Arten kleine Nager vor,

[1] Ferd. v. Hochstetter, Neuseeland. Stuttgart 1863. S. 426 ff.

[2] Ferd. v. Hochstetter, l. c. S. 410 ff. nach J. D. Hooker, Essay to the Flora of New Zealand. London 1853.

von denen jetzt nur eine einzige (Capromys Fournieri) vorhanden ist [1]). Höchst merkwürdig ist die Thatsache, dass unter den so spärlichen Säugethieren auf Cuba und Haiti sich je eine Solenodon-Art (ein Insectenfresser, einer übermässig vergrösserten Spitzmaus ähnlich,) befindet, deren nächste Verwandten nur auf Madagaskar vorkommen. Natürlich berechtigt dies nicht zu der tollkühnen Idee eines seeschlangenartigen Sonderzusammenhangs der Antillen mit Madagaskar in der Vorzeit; wohl aber lässt es wiederum deutlich erkennen, dass sich auf Inseln alte Formen viel länger zu erhalten vermögen als auf dem Continente, wo sie durch überlegene Nebenbuhler oft rasch verdrängt werden. Umgekehrt besassen die Antillen zur Tertiärzeit Nagethiere, welche mittlerweile hier längst ausgestorben sind, deren Familiengenossen aber gegenwärtig noch die Cordilleren Südamerika's bewohnen [2]). Cuba und Haiti sind geräumig genug, um einer Menge von Säugethieren im wilden Zustand eine Heimath zu bieten, wenn sie zu der Zeit, wo die heutigen Säugethiere auftraten, noch einen Zusammenhang mit dem Festlande besessen hätten. Die Antillen gehören deswegen ebenfalls zu den alten Inseln.

Bemerken wir also, dass die Inseln in Bezug auf die Trachten der Thier- und Pflanzenwelt sich conservativ verhalten, so haben sie auch den Menschenracen, die sie bewohnen, als Asyl gedient. Zu den nationalen Erkennungszeichen gehört vornehmlich die Sprache, und auf Inseln erhalten sich alterthümliche Sprachen viel länger als auf den Festlanden. Nachdem normannische Wikinge im Jahre 867 Island entdeckt und es bald darauf bevölkert hatten, redeten ihre Nachkommen auf Island die nämliche Sprache wie die damaligen Bewohner Norwegen's und Dänemark's; aber nur auf Island hat sich die altnordische Sprache erhalten, während sie sich in Dänemark und Norwegen bis zur Unkenntlichkeit modernisirte. Die alten keltischen Sprachen sind auf dem Festlande früher erloschen als in Grossbritannien, wo noch gegenwärtig einige Reste aus Pietät gepflegt werden, und in Grossbritannien wiederum früher als auf dem ferner liegenden Irland. Die Kawisprache, um deren Erforschung sich Wilhelm v. Humboldt so hohe Verdienste erworben hat, ist längst von der Bevölkerung Java's vergessen worden; sie konnte aber auf den vom Hauptkörper abgesprengten Inseln Madura und Bali als Sprache bei gottesdienstlichen Handlungen und bei dramatischen Puppenspielen, wenn sie

[1]) Die Abwesenheit der grossen festländischen Säugethiere auf den Antillen erregte schon die Verwunderung des geistreichen Jesuiten Joseph Acosta: De natura novi orbis. Coloniae 1596. Lib. I, cap. 21.

[2]) Alfred Kirchhoff in der Deutschen Revue. Januar 1879, S. 101 f.

Stoffe einer frühen Vorzeit behandeln, ihr Leben fristen. Auf der Südküste der Insel Ceylon wird das Elu gesprochen, welches vielleicht in keinem, höchstens nur in einem sehr entfernten Zusammenhange mit den drawidischen Sprachen Südindien's steht [1]). Selbst auf den Canalinseln haben sich nach der Darstellung von Ansted und Latham neben einer eigenen unschönen Sprache Sitten und Gebräuche erhalten, welche sowohl in der Normandie wie in England längst der Vergessenheit angehören. So retten sich zugleich mit den örtlichen Trachten auch Reste alterthümlicher Sprachen in schwer zugängliche Alpenthäler, so lange gute Strassen nicht ihre Insularität vernichten, wie uns L. Steub an dem Grödener Thal, einer romanischen Sprachinsel in den Tiroler Alpen, gezeigt hat.

Eine andere geschichtliche Bevorzugung haben Inseln in der Nähe festländischer Gestade genossen; denn sie dienten seefahrenden und handeltreibenden Völkern als Handelsniederlagen. Wir alle wissen, wie bedeutsam zur Zeit der Festlandsperre die Insel Helgoland wurde, weil sie sich im Besitz der Engländer befand. Aehnliche Dienste leistete den Portugiesen das künstlich isolirte Macao in Bezug auf China sowie die Insel Alt-Goa an der indischen Küste, die jetzt durch die britische Insel Bombay verdunkelt worden ist. Auch die Geschichte des Alterthums liefert uns eine Anzahl Beispiele; denn die Insel Gades (Cadiz) war der grösste der atlantischen Hafenplätze der Phönicier; eine andere phönicische Niederlassung befand sich auf Salamis, und die älteste griechische Niederlassung im Tyrrhenischen Meere treffen wir auf dem vulcanischen Ischia [2]).

Sehr oft hören wir bewundern, dass die Natur ein strenges Hausregiment gegen ihre Geschöpfe führe und namentlich eine wohlthätige Polizeigewalt ausübe. So habe sie, sagt man sich, Geschöpfe hervorgerufen, welche allen schädlichen Unrath und namentlich die Leichen von Thieren und Pflanzen auf dem Lande und im Wasser beiseite schaffen, damit sie nicht durch Fäulniss oder Verwesung das Element vergiften, worin andere Geschöpfe leben sollen. Auch hat sie Vorkehrungen getroffen, dass sich nicht irgend eine Thier- oder Pflanzenart zu Ungunsten der gesammten Zeitgenossen vermehre. Was man von dieser Ordnung in der Natur behauptet, ist vielleicht nichts Anderes als das Gleichgewicht, zu welchem nach fortgesetztem Ringen die Gestalten der belebten Schöpfung gelangt sind. Auf den Inseln aber mangelt das Gleichgewicht, und jene gerühmte Polizeigewalt wird bis-

[1]) Friedrich Spiegel im Ausland 1867, S. 516.

[2]) Forbiger, Handbuch der alten Geographie. Bd. III, S. 46. Curtius, Sieben Karten von Athen, erläuternder Text. S. 9. Mommsen, Römische Geschichte. Bd. I, S. 121.

weilen schmerzlich vermisst. Bei der Armuth an Arten fehlt es nämlich an dem erbitterten Kampf um das Dasein, und es zeigen sich dann höchst befremdliche Erscheinungen. Als der holländische Entdecker Lemaire im Jahre 1616 die Wolke der niedrigen Tuamotu-Inseln erreichte und auf einer von ihnen (Nairsa oder Rangiroa, auch „Vlieghen eiland" genannt) landete, wurden seine Matrosen und das ausgesetzte Boot von Fliegenschwärmen dermassen überdeckt, dass, heisst es in dem alten Bericht, „nous ne pouvions veoir ni visages, mains, voire la chaloupe et les rames". Etwas Aehnliches erzählt Beechey, der 1826 die Insel Bow oder Heau (auch Hao) auf der nämlichen Gruppe besuchte. Die ganz nackten Kinder sassen auf Matten und wälzten sich schreiend umher, um die Myriaden von Hausfliegen zu vertreiben, vor denen man ihre wahre Körperfarbe kaum erkennen konnte. Auf dem Inselvulcane St. Paul im Indischen Ocean giebt es keine Landthiere ausser solchen, die als Schmarotzer mit dem Menschen dahin gelangt sind. Unter diesen haben sich die Kellerasseln so schnell verbreitet, dass einer der Naturforscher auf der Fregatte Novara, wie es in Karl v. Scherzer's Bericht heisst, hundert als niedrigste Grenzzahl dieser Thiere für jeden Quadratfuss (= $^1/_{10}$ Quadratmeter) angab, so dass die kleine Insel 6000 Millionen dieser äusserlich so unholden, sonst aber harmlosen Geschöpfe beherbergt.

Auf den Inseln ist also der Kampf um das Dasein noch nicht entbrannt, und wo er noch nicht eingetreten ist, halten sich noch nicht die verschiedenen Thier- und Pflanzenarten das Gleichgewicht. In Folge dieses goldenen Friedens verlieren viele Geschöpfe das Rüstzeug, mit dem sie um ihr Dasein kämpfen sollten. Als die Portugiesen nach den Azoren, Madeira und den Capverdischen Inseln gelangten, liessen sich die Vögel, die sie dort fanden, mit den Händen greifen; denn offenbar kannten sie noch nicht oder kannten sie nicht mehr die Tücke ihres schlimmsten Feindes. Das Nämliche berichtet Darwin von den Vögeln auf den Galapagosinseln. Eines Tages setzte sich sogar auf den Rand einer Schildkrötenschale, die er in der Hand hielt, ein Spottvogel, um das darin enthaltene Wasser auszuschlürfen und liess sich mit der Schale ruhig in die Höhe heben[1]. Vögel, denen auf Inseln keine Säugethiere und keine gefiederten Räuber nachstellen, entwöhnen sich des Fliegens. Der Fittig, der ihnen im Kampf des Daseins entbehrlich geworden ist, schrumpft zu einem zwecklosen

[1]) Ganz ähnlich berichtet Bade's Tagebuch von den Hänflingen und Schneeammern in Ostgrönland: „Einige derselben setzten sich höchst ungenirt uns fast auf die Nase und liessen sich in fünf Minuten dreimal fangen." Die zweite deutsche Nordpolarfahrt in den Jahren 1869 und 1870. Leipzig 1873. Bd. I, Abtheilung 1, S. 102.

Gliede ein, welches die früheren Zoologen mit grossem Unrecht ein rudimentäres statt ein verstümmeltes genannt haben. Zu den Vögeln, die sich des Fliegens entwöhnt hatten, gehörte das Dodo oder der Dronte auf der Insel Mauritius, welcher noch am Beginn des 17. Jahrhunderts zahlreich vorhanden war und dann durch eine Art bethlehemitischen Kindermordes, verübt durch holländische Matrosen, völlig vertilgt wurde. Es gehörte dazu auch auf der nahe liegenden Insel Rodriguez der Einsiedler (Pezophaps), von dem man erst jetzt einige vollständige Knochengerüste in Europa erwartet. Endlich müssen wir hier an die Riesenvögel Neuseeland's, an die verschiedenen Moa-Arten erinnern, die viele Jahrtausende lang ohne irgend einen Gegner jene stille Inselgruppe bewohnten, bis die Flotte der Maori erschien und die Insel sich zuerst mit Menschen bevölkerte, was nach den freilich zweifelhaften Ueberlieferungen der Eingeborenen erst um 1300, also zum Schluss unserer Kreuzzüge, geschehen sein soll. Die wehrlosen Geschöpfe fielen dann rasch unter den Schlägen der Menschen, und alles, was von jenen Thiergestalten gerettet werden konnte, besteht in den Gebeinen, aus denen die vergleichenden Anatomen die ehemalige Körpergestalt künstlich wieder zusammengesetzt haben. Die flügellosen Vögel der Festlande dagegen, die Strausse Afrika's, der südamerikanischen Steppen und Australien's haben, immer von Gegnern umstellt, ihre Art durch eine günstige Entwicklung der Schenkelknochen und Muskeln gerettet und entrinnen noch heute durch Schnelligkeit des Laufes den nachstellenden Feinden.

Auch das Loos der Gewächse, die lange Zeit den Inselfrieden genossen haben, ist besiegelt, sobald die Menschen von den Schiffen auf das vorher nicht betretene Land steigen; denn sie bringen immer eine Anzahl von Festlandpflanzen als anerkannte oder als heimliche Passagiere mit auf die Inseln. Auf St. Helena zählt man 746 blühende Gewächse, wovon 52 einheimisch, die übrigen meistens aus England eingeführt worden sind. Zur Zeit ihrer Entdeckung war die Insel mit Wäldern bedeckt, die jetzt völlig verschwunden sind. Zunächst wurden nämlich die Rinden der Bäume wegen ihrer Gerbstoffe abgeschält. Was die Menschen verschonten, zerstörten dann die Ziegen und Schweine, deren Zucht schwunghaft betrieben wurde. Wie rasch auf jener Insel der Artentod fortschreitet, konnte der jüngere Hooker am besten beobachten, da er als Begleiter von Sir James Ross auf seinen antarktischen Entdeckungsfahrten die Insel zweimal betrat. Während seiner Abwesenheit war eine eigenthümliche Pflanze (Acalypha rubra) verschwunden; zwei andere strauchartige Melhanien mit prunkenden Blumen waren kurz zuvor ausgestorben; endlich erschien das Fortbestehen etlicher Wahlenbergien, einer Physalis und der wenigen

baumartigen Compositen stark bedroht. Hingegen haben zufällig eingeführte Arten, wie Chenopodium ambrosioides L. und ein Rubus, so überhand genommen, dass sie für die Bewohner eine Plage geworden sind und gegen letztere Pflanze sogar auf Befehl der Regierung ein Vernichtungskrieg geführt wurde. Auf Madeira sind zwei gelb blühende Leguminosensträucher (Ulex europaeus L. und Sarothamnus scoparius L.), die offenbar von Europa, wahrscheinlich von England nach Madeira eingeführt wurden, gegenwärtig so weit verbreitet, dass sie bis zu einer Höhe von 325 Metern einen Hauptbestandtheil der Flora bilden und im Juni die grüne Insel mit einem goldgelben Gürtel schmücken [1]).

Mit gleicher Unerbittlichkeit vollzieht sich der nämliche Vorgang auf Neuseeland. In schnöder Hast verbreiten sich englische Gräser und verdrängen die ältere Pflanzenwelt der Inseln. Ein Polygonum (aviculare), „Kuhgras“ genannt, wächst überall höchst üppig; das Ampferkraut (Rumex obtusifolius oder R. crispus) findet sich in jedem Flussbett; die Saudistel ist über das ganze Land verbreitet und wächst üppig beinahe bis zu 2000 Meter Höhe; die Wasserkresse nimmt in den Flüssen mit schwachem Gefäll in solchem Umfang zu, dass sie dieselben ganz unfahrbar zu machen droht. Besonders merkwürdig ist es, dass der kleine weisse Klee und andere Kräuter den neuseeländischen Flachs (Phormium tenax) wirklich erdrücken und völlig ertödten — eine Pflanze der gröbsten, härtesten und zähesten Art, die ungeheure filzartige Gruppen holziger Rhizomen bildet und Büschel schwertartiger, 2 bis 3 Meter hoher und in Textur und Faser ausserordentlich starker Blätter emportreibt. So müssen zahlreiche einheimische Gewächse den kräftigeren und jugendlichen Conquistadoren weichen. Faites place que je m'y mette, ist das Losungswort bei allen diesen Racenkriegen. Nach einem Briefe von J. Haast an Charles Darwin [2]) richten die Schweine, welche im verwilderten Zustande sich mit schädlicher Fruchtbarkeit vermehrt haben, durch das Aufwühlen des Bodens furchtbare Verheerungen an, so dass die Landwirthe eine Belohnung zahlen für ihre Vernichtung. Mag es auch beschämend klingen, so ist es doch nicht minder wahr, dass das Schwein hier die Rolle eines „Pionniers der Civilisation“ übernommen hat; denn sicherlich trägt es viel dazu bei, Neuseeland in Kürze sein altmodisches Pflanzenkleid abzustreifen und ihm ein anderes nach dem neuesten europäischen Zuschnitt aufzunöthigen, da die Lücken, welche in die dortige Pflanzenwelt hineingerissen werden, rasch die Gewächse ausfüllen, mit denen der europäische Mensch in geselligem Verkehr lebt

[1]) L. Kny, l. c. S. 225 f.
[2]) Ausland 1865, S. 738.

oder die ihm wie Ungeziefer folgen und die, hart gesotten im Continentalkampfe und Sieger über so viele ältere Arten, rasch die letzten schwachen Reste der Vorzeit hinwegräumen. Die einheimische polynesische Ratte, welche Neuseeland mit den Maori, ihren ersten menschlichen Bewohnern, betrat, wird gegenwärtig ausgerottet durch die normännische Ratte, welche mit den britischen Schiffen nach der Insel gelangte. Ihr auf dem Fusse ist die europäische Maus gefolgt und soll, was beinahe räthselhaft klingt, wiederum die normännische Ratte vertreiben. Die europäische Hausfliege ist anfangs als ungebetener Gast erschienen; jetzt wird sie von den Ansiedlern zur weiteren Verbreitung in Schachteln und Flaschen versendet, weil man bemerkt hat, dass die viel lästigere neuseeländische blaue Schmeissfliege ihre Gesellschaft scheut und sich verabschiedet, wo die Europäerin ihren Einzug hält. Die Maori sagen daher mit Recht: „Wie des weissen Mannes Ratte die einheimische Ratte vertrieben hat, so vertreibt die europäische Fliege unsere eigene. Der eingewanderte Klee tödtet unser Farnkraut, und so werden die Maori verschwinden vor dem weissen Manne selbst.“ Wir dürfen daher mit Recht die Naturforscher beneiden, die, wie F. v. Hochstetter und J. Haast, die Pflanzen- und Thierwelt jener Insel gesehen haben in ihrer alten tertiären Tracht und die der Wissenschaft eine getreue Schilderung jener merkwürdigen lebendigen Reste einer dem Untergang geweihten organischen Welt überliefern konnten.

Die nämlichen Vorgänge werden auch von den Chathaminseln im Osten Neuseeland's gemeldet. Dort haben sich der englische Stechapfel, der weisse Klee, das englische Masslieb, das Ampferkraut und der Senf so üppig und rasch verbreitet, dass die einheimischen Gräser beträchtlich zusammengeschrumpft sind und ein baldiger Untergang auch ihnen bevorsteht. Bereits haben sich auch Tauben und Meisen hier niedergelassen, welche, zuerst in Australien eingebürgert, von dort aus ihren Weg nach jenen alten Inselvulcanen fanden. Von der Insel Tahiti wird uns berichtet, dass der Guavabaum (Psidium pomiferum L.), welcher seiner essbaren Früchte wegen im Jahre 1815 von einem Missionär aus Südamerika dorthin verpflanzt wurde, jetzt weite Gebiete dieser Insel mit einem fast undurchdringlichen Dickicht überzieht [1]).

Auf Ceylon, das ja ebenfalls eine uralte Insel ist, vollziehen sich ganz ähnliche Vorgänge. Der Engländer Thwaites machte die Beobachtung, dass mit der beständigen Erweiterung der Kaffeeplantagen manche der dortigen Pflanzen sehr selten werden. Namentlich scheint

[1]) Reise der österreichischen Fregatte Novara um die Erde. Wien 1862. Bd. III, S. 196.

der Vegetationscharakter bis zu 1000 Meter Höhe durch eine erst vor ungefähr 50 Jahren auf Ceylon eingeführte Pflanze eine völlige Aenderung zu erfahren. Es ist dies eine in Amerika heimische Verbenacee, Lantana mixta. Sie bedeckt bereits Tausende von Acker Landes mit üppigem Laube; sie verdrängt alle ursprünglich dort wachsenden Pflanzen und vernichtet selbst kleine Bäume [1]).

Wir sehen also, dass mit dem Auftreten des Menschen auf vorher unbewohnten Inseln ein neuer geologischer Zeitabschnitt beginnt oder vielmehr die letzten Accorde einer älteren geologischen Zeit verklingen. Wir müssen uns indessen sogleich verbessern, dass wir den Untergang von Inselgeschöpfen an das Auftreten des Menschen im allgemeinen knüpften; denn die Veränderungen, welche z. B. in Neuseeland nach der Landung der Maori erfolgten, waren sehr geringfügig; sie bestanden nur in der Ausrottung der flügellosen Riesenvögel und der Einführung der polynesischen Ratte, eines Papageien und des Sultanshuhns (Porphyrio), sowie einiger Culturpflanzen. Der Typus der neuseeländischen Pflanzenwelt blieb dagegen in seinen Grundzügen ungeschmälert und unverwischt erhalten. Die grossen und jähen Wechsel erfolgten erst mit dem Erscheinen einer besonderen Spielart des Menschengeschlechtes, des Homo europaeus, wenn man so sagen darf. Wie seinen Cultur- und Schmarotzerpflanzen die einheimischen Gewächse, wie seinen Zucht- und Schmarotzerthieren die einheimische Thierwelt weicht, so sterben auch die Spielarten des Menschengeschlechts selbst aus, welche abgelegene Inseln oder Weltinseln lange Zeit friedlich oder nur bedroht von ihresgleichen bewohnten. Vielleicht noch ehe dieses Jahrhundert vergeht, jedenfalls im nächsten, werden die Urbewohner Australien's verschwunden sein, wie die Maori in Neuseeland, welche deutlich ihren Untergang voraussehen, wie die Fidschi-Insulaner, die Bewohner der Tonga- und Samoagruppe, Tahiti's, der Marquesasinseln und die Kanaken der Hawaiigruppe. Die Tasmanier sind bereits ganz hinweggerafft; im Jahre 1869 starb ihr letzter männlicher Repräsentant, welchem 1876 die letzte tasmanische Frau folgte. In dem Kampf um das Dasein erliegen alle Inselbevölkerungen bei der Berührung mit den Kindern der Festlande. Der erste Menschenstamm Amerika's, welcher schon 50 Jahre nach der Entdeckung ausstarb, waren die harmlosen Antillenos, und zwar wäre ihre Ausrottung erfolgt, selbst wenn die Spanier nie den Weg nach der Neuen Welt gefunden hätten; denn vom Festland aus hatte sich bereits der schöne, streitbare, see- und sternkundige Menschenschlag der Cariben über die Kleinen Antillen verbreitet, der westlichen Hälfte von Puertorico sich bemächtigt und er-

[1]) Zeitschrift Globus, Bd. XX (1871), Nr. 15, S. 240.

streckte schon seine Menschenraubzüge über Haiti, Cuba und die Bahama-Inseln. Der rothe Mann Amerika's weicht allerdings auch vor den Bleichgesichtern; einzelne Stämme jedoch leisteten bisher einen glücklichen Widerstand, wie die Farbigen in Mittelamerika, wie die Nachkommen der Culturvölker Quito's und Peru's, wie die Araucanier Südchile's und die Eingeborenen der patagonischen Steppen, die sich beritten gemacht haben auf den von den Europäern eingeführten Pferden. Der Neger endlich als afrikanische Spielart des Menschen ist nicht im Aussterben begriffen, sondern er hält in seinem heimathlichen Festlande siegreich Stand gegen europäische oder berberische Eindringlinge. Es ist also vorzugsweise das Schicksal der Inselbevölkerungen, dass sie der Invasion von Continentalvölkern erliegen. So sind die Celten der britischen Inseln zunächst von den Römern, dann von den Sachsen, hierauf von den Dänen und zuletzt von den Normannen überfallen worden. Die Malayen, von denen man richtig annimmt, dass sie vom südasiatischen Festland ausgingen, haben auf Sumatra, Borneo, den Philippinen und den Molukken die eingebornen Australneger überall in die Gebirge zurückgedrängt, und das Gleiche ist den Veddahs auf Ceylon von Seiten der tamulischen Einwanderer (Singhalesen) widerfahren.

Es ist höchst auffallend, dass die Erdkunde sich bisher begnügte, nur die einzelnen Inselkörper zu benennen, und sich nicht gewagt hat, sie artenweise zu ordnen, um durch Beigabe einer classificatorischen Bezeichnung sogleich eine Reihe bestimmter Merkmale auszusprechen. Wir wollen zum Schluss etwas Derartiges versuchen. Es lassen sich nämlich unterscheiden:

A. Inseln, die niemals Festland waren.

1) Junge Inseln, von Korallen erbaut, niedrig, arm an Pflanzen- und Thierarten, vorzüglich an Säugethieren und Reptilien, nicht ausgezeichnet durch den ausschliesslichen Besitz eigenthümlicher Gewächse oder Thiere. Beispiele: die Atolle der Südsee und des Indischen Oceans, am schärfsten vertreten durch die Keelinginseln.

2) Junge Inseln vulcanischen Ursprungs, als hohe Inseln reicher an Arten als die niedrigen Atolle, aber ohne eigenthümliche Arten. Beispiele: nördliche Gruppe der Marianen, St. Paul und Neu-Amsterdam.

3) Alte Inselvulcane, vergleichsweise reicher als die vorigen, mit eigenen Pflanzen und Thiertrachten, Zufluchtsstätten ausgestorbener Continentalarten. Beispiele: Madeira, Ascension, St. Helena, Bourbon, Mauritius, die Galapagos-Gruppe u. s. w.

B. Bruchstücke früherer Festlande.

4) Frisch abgetrennte Inseln mit derselben Pflanzen- und Thierwelt wie das benachbarte Festland, nicht ausgezeichnet durch den ausschliesslichen Besitz von eigenthümlichen organischen Formen, in Verarmung begriffen oder ihr entgegengehend. Beispiele: die britischen Inseln, Japan und Tasmanien.

5) Inseln, die sich in der geologischen Vorzeit abtrennten, alte Continentalinseln. Ihre Thier- und Pflanzenwelt zeigt bereits Verschiedenheit mit dem Mutterfestlande. Trat die Trennung schon vor grösseren Zeitabschnitten ein, so kann sich sogar typische Verschiedenheit entwickeln. Beispiele: die Antillen, Neu-Guinea in Bezug auf Australien, ebenso Neu-Caledonien und Neuseeland, die beiden letzteren die ältesten Bruchstücke eines Festlandes, wenn sie überhaupt jemals mit Australien einen Zusammenhang besassen.

6) Zusammengeschrumpfte Weltinseln. Reichthum an eigengehörigen Arten mit alterthümlichem Anstrich. Beispiele: Australien in Bezug auf Südasien, Madagaskar mit den Seychellen, Ceylon, vielleicht auch Neuseeland und der antarktische Continent (?).

XVI. Ueber die Lage, den Bau und die Entstehung der Gebirge

(mit besonderer Berücksichtigung der Alpen)[1].

Alle Erdräume, welche jetzt über die oceanische Fläche emporragen, waren in früheren geologischen Zeitaltern vom Wasser bedeckt. So lange unser Planet noch aus einer gluthflüssigen Masse bestand, vermochten sich wohl kaum nennenswerthe Anschwellungen auf seiner Oberfläche zu bilden. Als jedoch in Folge fortgeschrittener Erkaltung das Volumen des Erdkörpers eine bedeutende Verringerung erfuhr, erwies sich die mittlerweile starr gewordene äussere Schale für den verdichteten Erdkern zu weit, und sie sank an manchen Stellen auf diesen herab, wodurch die übrigen Theile in eine relativ hohe Lage versetzt wurden. So war die Bildung erhabener continentaler Tafelländer und tiefer oceanischer Becken eingeleitet. Doch bewahrten beide in keinem geologischen Zeitalter ihre Gestalt; vielmehr änderten sie beständig ihre horizontalen Contouren, indem sie sich bald nach dieser, bald nach jener Richtung erweiterten oder an Umfang verloren. Manche Gebiete erhoben sich, um nach Ablauf einer gewissen Periode von neuem unterzutauchen, und in vielen Fällen wiederholte sich dieses Spiel mehrfach. Soweit man bis jetzt die Erde geologisch durchforscht hat, findet sich nirgends die Gesammtheit aller unter Mithilfe des Meeres, also durch Niederschläge aus demselben hervorgegangenen geschichteten Formationen. Vielmehr fehlen überall einige derselben; ja bisweilen ruhen die jüngsten unmittelbar auf den ältesten. Solche Lücken belehren uns, dass die betreffenden Ländergebiete einst während kürzerer oder längerer Zeiträume über dem Meeresspiegel verharrten.

[1]) Einzelne Theile dieses Abschnittes sind den „Neuen Problemen“ (3. Aufl. S. 85—96) entlehnt.

Das Aufsteigen der Gebirge ist nun von dem der Continente wesentlich verschieden; es handelt sich hierbei ja nur um Fältelungen von relativ kleinem Umfang auf dem weit ausgedehnten Sockel continentaler Hochlande, nicht um die Bildung solcher Hochlande selbst. Es gilt nun zu ermitteln, welche Beziehungen zwischen der Erhebung der Continente und der Gebirge bestehen.

Von hoher Wichtigkeit ist die Thatsache, dass die Lage und das Streichen sämmtlicher Gebirge bedingt erscheinen durch die Uferrichtung der Festlande, denen sie angehörten, wie überhaupt die Lagerung der Schichten an den Continentalküsten gewaltige Störungen erlitten haben, im Innern der Continente hingegen verhältnissmässig geringe. Von den Gebirgen, die in früheren geologischen Zeitabschnitten aufgestiegen sind, lässt sich ihr Verhältniss zu dem ehemaligen Ufersaum schwieriger nachweisen, weil die damalige Gestaltung der Festlande jetzt durch die See oder aufgelagertes Gebiet uns verdeckt ist. Von allen jüngeren Gebirgen aber können wir den Satz vertreten, dass sie sämmtlich am Ufer der See sich erhoben. Während der tertiären Zeit oder an ihrem Schlusse richteten sich auf: die Felsengebirge Nordamerika's, die Anden, der Himalaya, die Alpen. Aus älterer Zeit könnten wir hinzufügen die Vogesen und den Schwarzwald; denn das ehemalige Rheinthal von Basel bis Mainz bildete einen Meeresarm noch in der Jurazeit [1]). Der Schweizerische Jura lag ebenfalls zur Kreidezeit am Rande eines Meeres [2]). Am Fusse der Pyrenäen, bei denen eine ältere und eine jüngere Erhebung unterschieden wird, zog sich zur Tertiärzeit noch ein schmaler Meeresstreifen von Bayonne bis zum Mittelmeer und ein zweiter am Südabhange im heutigen Ebrothale aufwärts. Der Kaukasus wurde ebenfalls am Rande des Meeres aufgerichtet; denn zur Tertiärzeit waren der Pontus und das Kaspische Meer noch verbunden. Ist der Satz richtig, dass Gebirge zur Zeit ihrer Erhebung immer in der Nähe der See lagen, so müssen Gebirge im Innern der Festlande, besonders wenn ihr Streichen nicht mehr zum Bau des Trockenen in Harmonie steht, vor der Tertiärzeit schon erhoben worden sein. Der Ural, unser Böhmerwald, das Erzgebirge, selbst der Harz müssen Zeiten angehören und gehören Zeiten an, wo unser Welttheil nach ganz veränderten Richtungen sich ausbreitete. Doch hüte man sich, den Satz umzukehren und jedes Gebirge, welches am Meere liegt und mit dem Streichen der Festlandküsten übereinstimmt, deswegen für jung zu halten; denn wenn der Ocean die Fest-

[1]) Oswald Heer, Die Urwelt der Schweiz. Zürich 1865. S. 161, Fig. 97.

[2]) Der Jura erlitt eine doppelte Hebung, eine ältere und eine jüngere, welche letztere mit dem Aufsteigen der Alpen zusammenhing und seinen südlichen Abhang faltete.

lande verschlingt, wird er immer wieder zuletzt die alten Gebirge in Küstenketten verwandeln. Dies ist nachweisbar der Fall gewesen bei den Appalachen, die ehemals den westlichen Rand eines im Atlantischen Ocean versunkenen Festlandes bildeten.

Bei allen jüngeren Gebirgen muss man zwischen ihrem oceanischen und ihrem continentalen Abhang unterscheiden. Der oceanische Abhang der Anden und der Felsengebirge ist natürlich das Stille Meer. Den oceanischen Abhang des Himalaya könnten wir den bengalischen nennen; denn die Gangesebene war noch in sehr neuer Zeit ein Meerbusen, der von den Schuttmassen des Himalaya ausgefüllt wurde, genau so wie die Alpen an ihrem oceanischen Abhang, als welchen wir den lombardischen betrachten, die Po-Ebene durch ihre Verwitterungserzeugnisse ausfüllten.

Alle diese Gebirge zeigen übereinstimmend den Charakter, dass auf ihrem festländischen Abhange Hochlande sich anlagern: an die Alpen die bayerische Hochebene, an den Himalaya Tibet, an die Felsengebirge die Hochebenen jenseits des Mississippi, an die Anden Gebirgsstufen, die sich nach Brasilien oder in die La-Plata-Gebiete hinabsenken. Damit hängt sehr einfach zusammen, dass alle diese Gebirge an ihrem oceanischen Abhang viel steiler abfallen, die Alpen nach der Lombardei, der Himalaya nach Bengalen, die Felsengebirge und die Anden nach der Südsee zu, oder, was dasselbe sagen will, dass fast alle Pässe vom Festlande viel sanfter aufsteigen, als sie nach dem Meere zu sich senken. So erhebt sich der Weg nach dem 15 942 engl. Fuss hohen Tári-Passe des Himalaya von Süd her auf einer Strecke von 10,6 engl. Meilen 11 010 engl. Fuss, sinkt aber nach Norden auf einer Entfernung von 14,5 engl. Meilen nur 3521 engl. Fuss. Die mittlere Neigung auf der indischen Seite beträgt 11° 8′, auf der tibetanischen 2° 38′[1]). Auch wäre es geradezu wunderlich, wenn es anders sein sollte; denn da es an dem oceanischen Abhange Meere auszufüllen gab, so konnten dort keine Hochebenen aufgeschichtet werden, während auf der festländischen Seite alle Abreibungserzeugnisse bereits auf trockenem, also auf absolut höherem Lande abgesetzt wurden. Es erklärt sich jetzt auch leicht, warum es am nördlichen Abhange der Alpen, also auf ihrer Binnenseite, keine Seen giebt, die bis unter den Meeresspiegel herabreichen, wohl aber auf der „lombardischen“ Flanke den Langen-, Comer, Garda-, Iseo- und Luganer See (nämlich mit Tiefen bis zu —657, —391, —219, —148 und —8 Metern)[2]).

[1]) Herm. v. Schlagintweit-Sakünlünski, Reisen in Indien und Hochasien. Jena 1871. Bd. II, S. 382 f.

[2]) L. Rütimeyer, Ueber Thal- und Seebildung. Basel 1869. S. 58.

Die Beharrlichkeit der Höhenverhältnisse auf den Abhängen der Gebirge bezeugt uns unwiderleglich, dass sie an den Rändern der Festlande aufgestiegen sind und dass schon vor ihrer Erhebung die Umrisse der letzteren gegeben waren. Wären die Anden nämlich nicht am Rande eines schon trockenen Südamerika, sondern aus den Tiefen des Oceans aufgestiegen und trügen sie als Gebälk ein neues Festland, so müsste sich an ihrem pacifischen Abhang ein ebenso breiter Küstensaum finden wie auf der Binnenseite, was doch bekanntlich nicht der Fall ist. Immer sollte uns gegenwärtig bleiben, dass jedes Festland, und wenn es völlig eben wäre, als mächtiges Hochland aus der See aufsteigt und dass neben der Erhebung von Festlandmassen, wenn man den Körperinhalt berechnet, wie es zuerst durch A. v. Humboldt geschehen ist, selbst die höchsten Gebirge nur untergeordnete Erscheinungen sind.

Auch wissen wir bereits auf anderem Wege, dass an der Stelle, wo jetzt die Gebirge stehen, also auf dem Raume ihres Sockels, schon vor der Erhebung trockenes Land war. Von den Alpen, den Pyrenäen und dem Kaukasus setzen wir dies als bekannt voraus; übrigens genügt dazu ein Blick auf irgend eine geologische Karte, die uns zeigt, welche Gebiete von Europa seit den Tertiärzeiten nicht mehr von der See bedeckt wurden [1]). Im Himalaya sind auf Höhen, die bereits der ewige Schnee bedeckt, Knochen vom Rhinoceros, vom Pferd, vom Büffel, von Antilopen gefunden worden [2]); folglich mussten damals jene Thiere Weiden besucht haben, wo jetzt eine winterliche Einöde herrscht. Dies alles giebt uns Aufschluss, an welche Bedingungen das Wachsthum des festen Landes geknüpft ist. Ragt irgendwo eine unterseeische Hochebene aus dem Meere bis zum Luftkreis trocken empor, so ist die Möglichkeit vorhanden, dass sich ihr Saum noch höher aufzurichten vermöge. Sind genügende Hebungskräfte in der Tiefe vorhanden, so steigt am Uferrande ein Gebirge auf, worauf durch die Schuttmassen, die an seinem oceanischen Abhange von den zerstörenden Kräften des Luftkreises abgerieben werden, ein neuer Saum Landes sich bilden kann, von dessen Rändern neue Hebungen in späteren Zeiten ausgehen mögen.

So wachsen die Festlande concentrisch oder in Jahresringen immer vom Innern heraus, Küstenstreifen an Küstenstreifen ansetzend, und dadurch allein erklärt sich der Zusammenschluss der Festlande, so dass es überhaupt nur zwei grosse Weltinseln giebt, die Alte und die Neue Welt, aufsteigend aus tiefen Weltmeeren. Werden von den

[1]) Sir Charles Lyell, Principles of Geology. 12th edition. London 1875. Vol. I, p. 254.

[2]) Ausland 1864, S. 288.

Festlanden durch Senkungen oder Abreibungen des Meeres Stücke abgetrennt, so wird ihre Wiedervereinigung mit den grossen Körpern um so schwieriger erscheinen, je kleiner die Oberfläche des abgesonderten Landes ist. So könnte man von der australischen Weltinsel erwarten, dass sie sich noch immer wieder vergrössern werde, jedoch schwerlich in der Richtung nach Osten, wo eine Senkung des Landes im Gange ist. Von Madagaskar, dem Reste eines eingeschrumpften vormaligen Festlandes, lässt sich beinahe voraussehen, dass es einem gänzlichen Erlöschen entgegengehe, und die britischen Inseln möchten wohl auf immer Europa entfremdet bleiben; denn seit der Miocänzeit, als unser Festland über Grossbritannien, Island und Grönland noch mit Nordamerika zusammenhing, ist die nordatlantische Sohle beständig gesunken.

Allen grossen Gebirgen gemeinsam ist ein ziemlich auffallender Parallelismus. Namentlich in den südamerikanischen Anden tritt dieses Verhalten mit grosser Strenge auf. Jeder Krümmung, welche die äussere, am Ufer entlang streichende Kette ausführt, folgt die nächste, wo eine zweifache, und die dritte an den Stellen, wo eine dreifache Gliederung der Gebirgsmassen vorhanden ist. Auch bei den Alpen, obgleich die einzelnen Strecken viel Selbstständigkeit besitzen, herrscht die gegenseitige Abhängigkeit der Streichungslinien von einander vor. Regelrechter aber ist die Erscheinung wohl nirgends als beim schweizerischen Jura und bei den amerikanischen Appalachen. In beiden Fällen sehen wir die oberen Erdschichten gefaltet, wie wenn mehrfach zusammengelegte Leinwand- oder Papierschichten durch seitliche Verschiebung in auf- und absteigende Wellen gekrümmt worden wären. Bei den Appalachen kam die seitlich schiebende Kraft vom jetzigen Atlantischen Meere her, beim Jura von den Alpen.

Nun ist es sehr bedeutsam, dass wir den Gegensatz zum Parallelismus, nämlich eine Durchkreuzung zweier Gebirgszüge auf der ganzen Erde nicht wahrnehmen. Manche Zweige der Cordilleren sind allerdings durch Querjoche vereinigt; allein dies sind örtliche Erscheinungen in jenen Gebirgen selbst. Auch kann es so weit kommen, dass Gebirge von geringerer Erhebung fast senkrecht auf einander stossen, wie unser Fichtelgebirge einen Knoten darstellt, der durch das Erzgebirge gebildet wird, welches dort auf die Erhebungslinie des Thüringer- und Böhmerwaldes trifft[1]. Grosse Gebirgszüge dagegen durchkreuzen sich nie. Es kommt nicht vor, dass ein Ural unter dem Kaukasus sich hindurchzöge und am anderen Abhange der Kette wieder auftauchte. Die Schule der Vulcanisten, wie A. v. Humboldt,

[1] B. v. Cotta, Innerer Bau der Gebirge. S. 14.

Leop. v. Buch und Élie de Beaumont, dachten sich die Gebirge auf Spalten als heissflüssiges Erdinneres emporgequollen. Solche Spalten mussten nach ihrer Anschauung vorkommen können in jeder Richtung eines grössten Kreises auf der Erdoberfläche. Es konnte also nicht ausbleiben, dass sich doch irgendwo diese Spalten einmal gekreuzt hätten; ja, eine solche Spalte kreuzt auch wirklich das mexicanische Gebiet, und auf ihr liegen zu einer Reihe geordnet sämmtliche Vulcane jenes Hochlandes, aber auch nur Vulcane, keine Gebirge. Freilich war man damals noch weit von der Erkenntniss entfernt, dass die Vulcane nur untergeordnete Nebenerscheinungen sind, welche an den klaffenden Stellen der Erdoberfläche hervorbrechen. Man wird jetzt verstehen, welch hohen Werth A. v. Humboldt darauf legte, dass er eine ächte Kettenkreuzung in Innerasien erkannt zu haben meinte. Er dachte sich nämlich, dass der westwärts streichende Künlün unter dem nordsüdlich aufgestiegenen Bolor hindurchsetzte und jenseits als Hindukusch sich verlängert habe. Er hat diese Vermuthung bildlich dargestellt auf der Karte zu seinem Werke über Centralasien [1]. Seitdem aber haben unsere geographischen Gemälde von Hochasien andere Gesichtszüge angenommen; der Künlün ist dem Hindukusch weit entrückt. Vor allem aber giebt es kein Gebirge Bolor, welches von Süd nach Nord streicht und rechtwinklig vom Künlün durchsetzt wird; vielmehr findet sich an jener Stelle ein mehr als 50 geogr. Meilen weit von West nach Ost sich erstreckendes Plateau, das Pamir-Plateau.

Der Mangel an Durchkreuzungen hoher Gebirge deutet uns an, dass die Kräfte, welche die Hebungen bewirkten, auf denselben Erdräumen nicht rechtwinklig sich begegnen konnten. Wo die Anschwellungen der Erdoberfläche auf einem bestimmten Gebiete ihren Abschluss erreicht hatten, da konnte nach der Erschöpfung nicht mehr ein zweiter Erhebungsgürtel entstehen, sondern, so lange noch hebende Kräfte verfügbar blieben, wurde die Erdrinde immer wieder parallel zur anfänglichen Erhebungsrichtung gefaltet oder aufgerichtet.

Die gebirgerhebenden Kräfte haben an verschiedenen Orten der Planetenoberfläche ganz verschiedenartig gewirkt; daher zeigen auch die Gebirge hinsichtlich ihres plastischen Baues die grösste Manigfaltigkeit. An manchen Stellen erhielten die Schichten eine äusserst geringe, kaum merkbare Neigung wie an der Ostseite der Felsengebirge und an der Westseite des Ural. Zwar liegt der höchste Punkt der Pacific-Bahn, Station Sherman, 2512 Meter über dem Meeres-

[1]) Vgl. auch A. v. Humboldt, Centralasien. Deutsch von W. Mahlmann. Berlin 1844. Bd. I, S. 578.

spiegel; doch erfolgt das Aufsteigen von Ost her so allmählich, dass es das Auge kaum wahrnimmt. Wer den Ural unter dem 57. Grad (zwischen Perm und Jekaterinburg) überschreitet, hat Mühe, die Wasserscheide genau zu erkennen, da die Neigung des Bodens, insbesondere nach der europäischen Seite hin, eine äusserst geringe ist. Zum Theil gilt dies auch von der Halbinsel Skandinavien, die im Grunde nichts anderes ist als eine grosse Felsentafel, eine mächtige, gewölbartige Falte, welche, am Meere einseitig aufgerichtet, nach Schweden zu sanft abfällt. Gebirgscharakter gewinnen derartige Hochländer besonders dann, wenn die Stirnseite der Anschwellung den verheerenden Wirkungen des Wassers ausgesetzt ist. Skandinavien selbst gewährt uns hierfür das lehrreichste Beispiel. Während der Blick des auf dem Hochlande weilenden Beschauers fast überall über eine weite, eintönige Ebene schweift, treten dem Küstenfahrer an der Westseite fast überall jäh, oft fast senkrecht abstürzende Felswände entgegen. Auch heute noch höhlt das brandende Meer die steilen Uferfelsen am Grunde aus und bringt die auf ihnen ruhenden Felsmassen zum Falle. So war Karl Vogt Zeuge eines gewaltigen Felssturzes; eine ungeheure Steinmasse brach unter fürchterlichem Gedonner zusammen und sank theils in den Fjord hinab, theils blieb sie am Wasserrande liegen [1]).

Die angeführten Gebirge besitzen Schichtenflächen mit äusserst geringer Neigung. Vielfach aber wurde die Erdrinde zu deutlicher ausgesprochenen Kämmen gefaltet, von denen sich öfter, wie bereits erwähnt, mehrere parallel neben einander aufrichteten, und so wurden Faltensysteme geschaffen, wie der Schweizer Jura und die Alleghanies. Ein Querschnitt durch diese Gebirge zeigt zahlreiche Gebirgswellen; breite Kämme und flache Mulden wechseln mit einander ab, und in letzteren breiten sich oft Seen aus. Ursprünglich mögen auch die Alpen aus verhältnissmässig flachen Anschwellungen und Mulden bestanden haben, bevor nämlich die Flüsse die letzteren zu tiefen Thälern ausnagten. Daher erscheint auch die Einfachheit des anfänglichen Faltenwurfes jetzt vielfach verwischt. So wissen wir von Thälern, welche in der Gegenwart durch ansehnliche Querriegel von einander geschieden sind, dass sie einstmals eine grosse Falte bildeten, so das Thal Wallis (Rhônethal), das Urserenthal (Thal der oberen Reuss) und das Vorderrheinthal, zwischen denen sich jetzt trennend die Querstöcke der Furka und der Oberalp erheben.

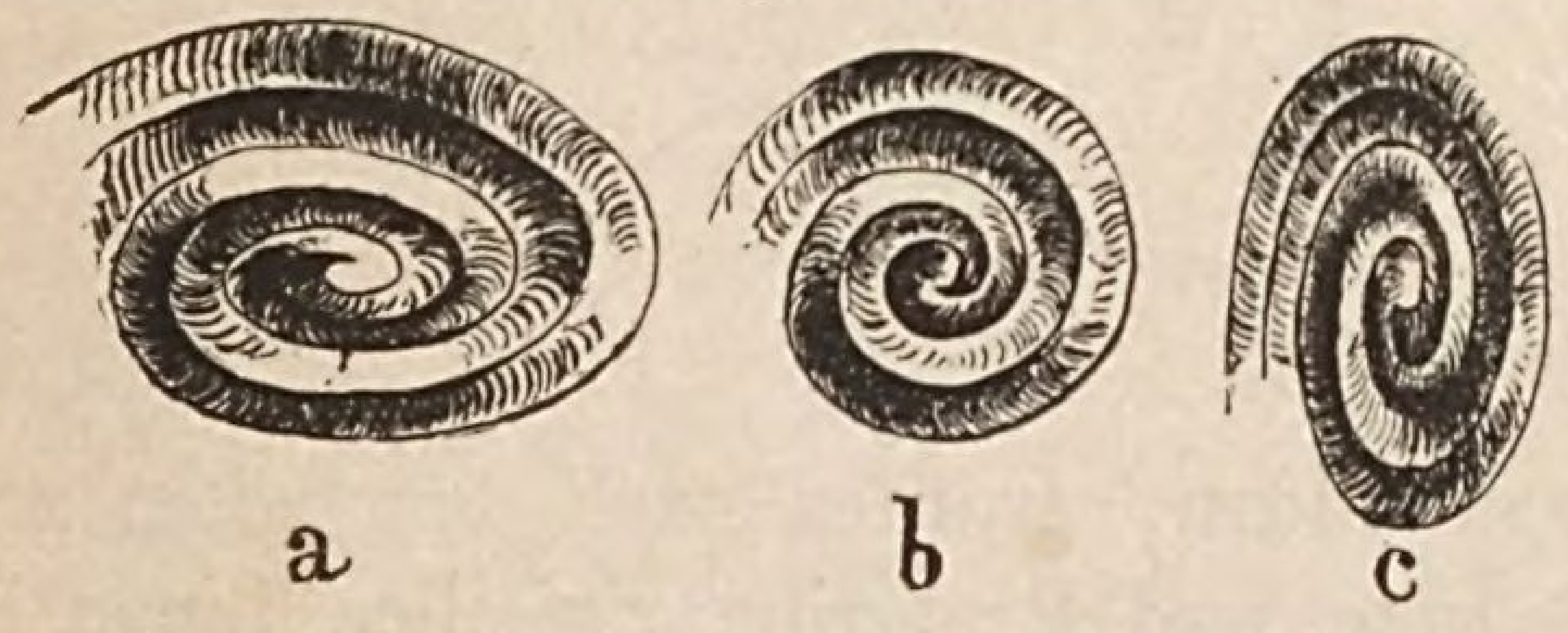
Die Möglichkeit solcher Faltungen kann nicht mehr bezweifelt werden, da es längst durch Experimente bestätigt worden ist, dass jedes Gestein einen grösseren oder geringeren Grad von Elasticität be-

[1]) Karl Vogt, Nordfahrt entlang der norwegischen Küste etc. Frankfurt a. M. 1863. S. 241 f.

sitzt. Es lassen sich aber auch zahlreiche Beweise dafür beibringen, dass in der That die angenommenen Vorgänge stattgefunden haben, ganz abgesehen davon, dass unsere Vorstellungen von der Entstehung der Sedimentärgesteine, die sich ja nicht als geneigte oder gebogene Straten ablagern konnten, eine derartige Anschauung fordern.

Nicht selten sind plattenförmige Rollstücke in steilstehenden Schichten so über einander gestellt, dass sie ihre scharfen Ränder einander zukehren, wobei ihre Längenaxe mit der Schichtungsfläche eine und dieselbe Richtung hat. Eine solche Lagerung aber besassen sie unmöglich von Anfang an. Ferner haben Fossilien in aufgerichteten Schichten vielfach eine vollständige Verzerrung erlitten, was nur als eine Wirkung des auf sie ausgeübten Druckes betrachtet werden kann. Selbstverständlich unterlagen die ganzen Schichten einem gleichen Drucke und einer dem entsprechenden Aufrichtung. Oberflächliche Sammler liessen sich verleiten, neue Arten aus jenen Caricaturen zu schaffen, wie z. B. Spirifer disjunctus, wenn er plattgequetscht auftrat, zu einem Spirifer giganteus erhoben wurde. Das gleiche Schicksal erlitt Euomphalus pentagulatus (Fig. 78), welcher in seinen zerquetschten Exemplaren zu einem neuen Gattungsnamen (Ellipsolithes) durch übereilte Classification gelangte. Sieht man freilich die Formen neben einander und finden sich auch noch die Uebergänge, so hält man derartige Missgriffe für unbegreiflich. Fig. 79 stellt einen

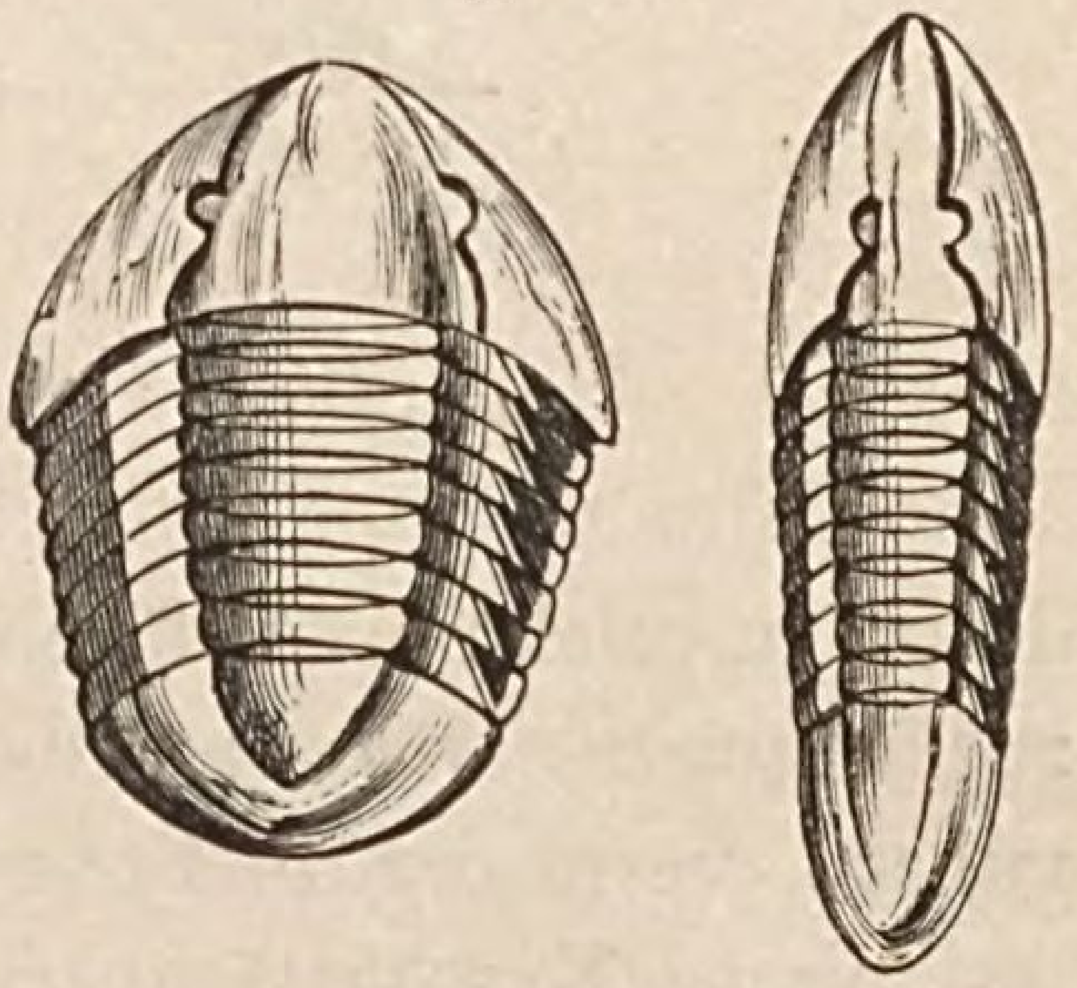
Fig. 78.



a b c

Euomphalus pentagulatus von Little Island (Cork):
von oben nach unten gequetscht. natürliche Form. durch seitlichen Druck gequetscht.

Fig. 79.



Asaphus Homfrayi:
natürliches Aussehen. verzerrt durch Schieferung.

Trilobiten vor und nach der Schieferung vor [1]). Ebenso beweist die horizontale oder stark geneigte Lage fossiler, noch mit dem Wurzelwerk versehener Baumstämme in allen denjenigen Fällen eine starke Aufrichtung der Schichten, in welchen jene Stämme normal auf denselben stehen. Die Aenderung ihrer senkrechten Stellung kann in diesem Falle auf nichts anderes zurückgeführt werden als auf die Aufrichtung der Schichten.

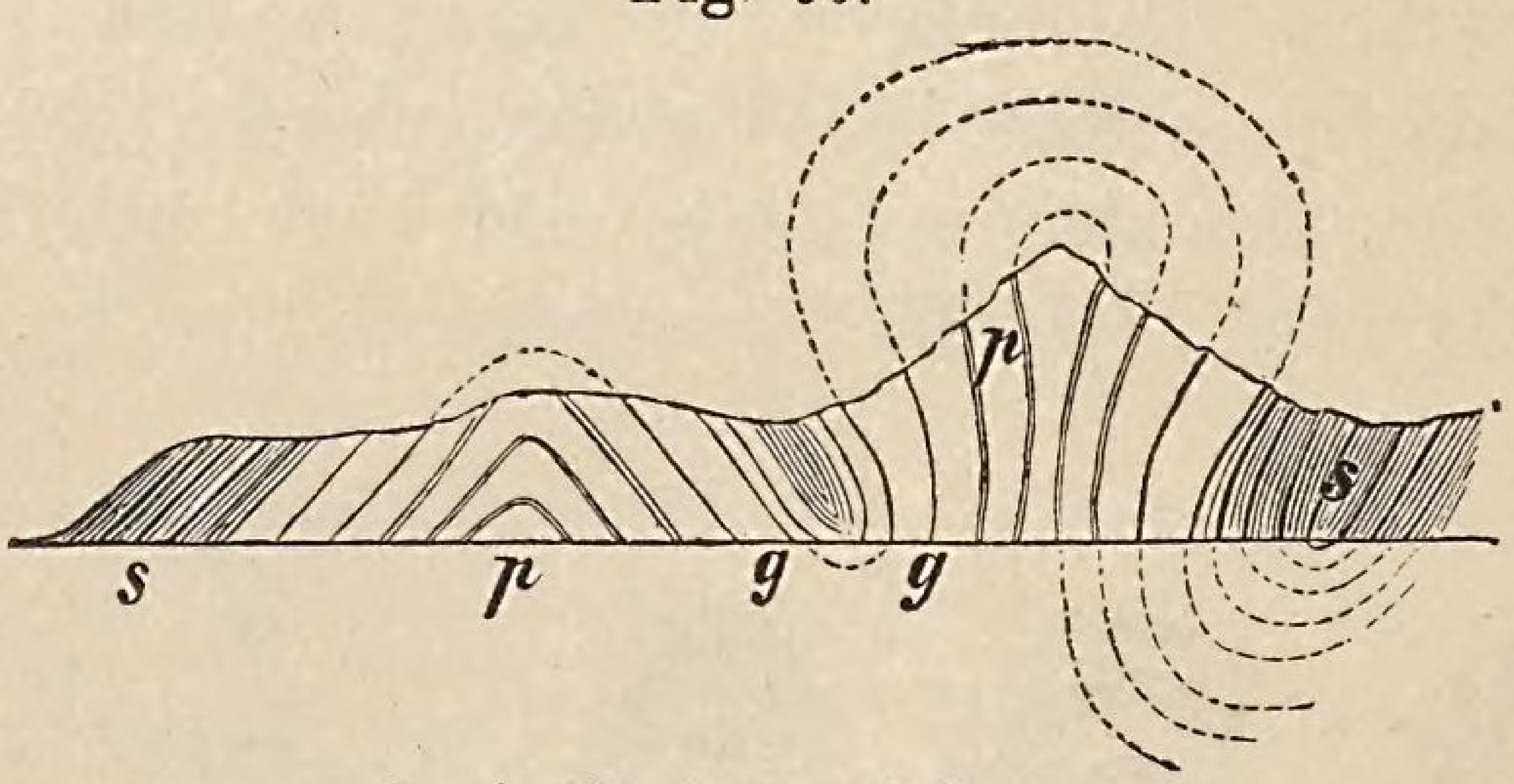
Bisweilen erlangten die Schichten eine völlig verticale Richtung;

[1]) Nach David Forbes im Ausland 1870, S. 493.

von diesen sagt man, dass sie auf dem Kopfe stehen. Verblieb es auch hierbei nicht, sondern schritt die Bewegung, aus welcher die senkrechte Stellung resultirte, in gleichem Sinne weiter fort, so kam eine Ueberkippung der Schichten zu Stande, wobei in einer Schichtenreihe buchstäblich das Unterste zu oberst zu liegen kam. Für derartige Vorgänge bieten uns die Alpen, in denen am frühesten die Lagerung der Schichten erforscht worden ist, manigfache Beispiele.

Scheuchzer und H. B. de Saussure waren die ersten, die uns Genaueres über die Lagerung der Gesteinsschichten in den Alpen berichteten und sich hierzu geologischer Querschnitte bedienten. Der Letztere hatte bereits die Fächerstellung der krystallinischen Centralmassen am Montblanc auf dem Wege von Blaitière nach Chamounix erkannt. Später zeigte vor allem Bernh. Studer, dass die krystallinischen Massen in den centralen Zonen der Alpen, wenn sie bis zu einer gewissen Höhe emporgedrängt wurden, barsten, worauf sie sich wie die Halme von Garben auseinander legten. So entstand ihre Fächerstructur. Die Gneisse g und Schiefer s (Fig. 80), welche die äussere Umhüllung

Fig. 80.



Gneissfächer nach Desor.
p Protogin. g Gneiss. s Schiefer.

dieser ungeheuren Auftreibungen bilden, wurden nach den Seiten zurückgebogen, während die Granite und Protogine zwischen ihnen in nahezu verticaler Stellung verharrten. Manchmal rücken zwei krystallinische Kernmassen einander so nahe, dass sie sich in derselben Kette fast berühren, die eine vielleicht mit Fächerstructur und Protoginlagern in der Mitte, die andere, durchweg aus Gneiss bestehend, mit anticlinaler Lage der Schichten, wie es Fig. 80 zeigt [1]).

Brachen die krystallinischen Massen in mehreren parallelen Zonen hervor, so wurden die zwischen ihnen liegenden Mulden durch die krystallinischen Felsarten an beiden Flanken emporgehoben und bisweilen gänzlich umgebogen wie etwa die Blätter eines Buches, so dass die Sedimentärgesteine in den inneren Räumen fast ganz verschwanden (vgl. das Profil des Montblanc, Fig. 81).

[1]) E. Desor, Der Gebirgsbau der Alpen. Wiesbaden 1865. S. 7.

In ausgezeichneter Weise tritt die Fächerstructur, sowie die Umbiegung und Ueberkippung der sedimentären Schichten am St. Gotthard zu Tage (Fig. 82). Der mittlere granitische Kern stellt ein

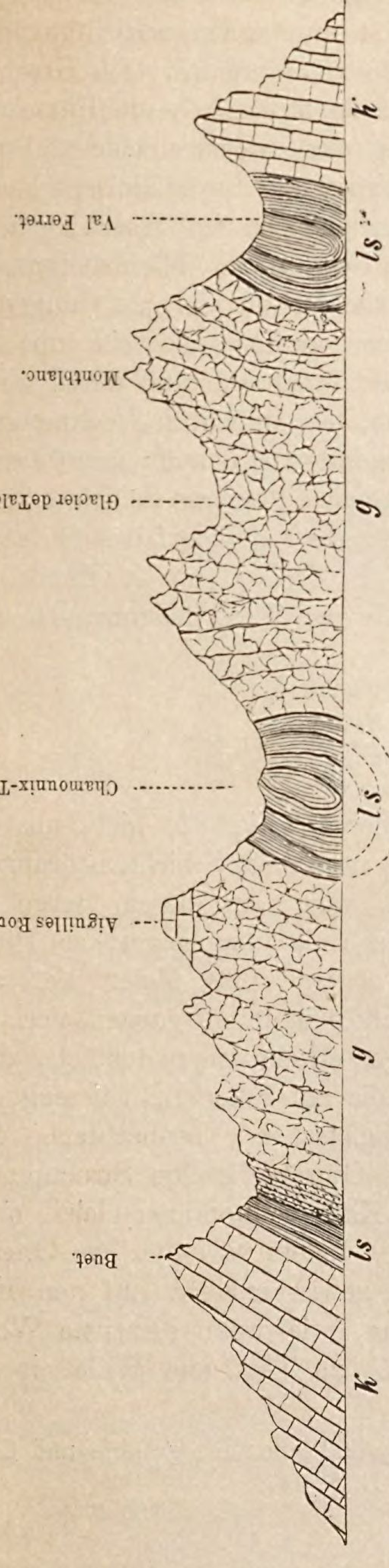


Fig. 81.
Geologisches Querprofil des Montblanc.
g Gneiss und Granit. ls Lias. k Jurakalk.

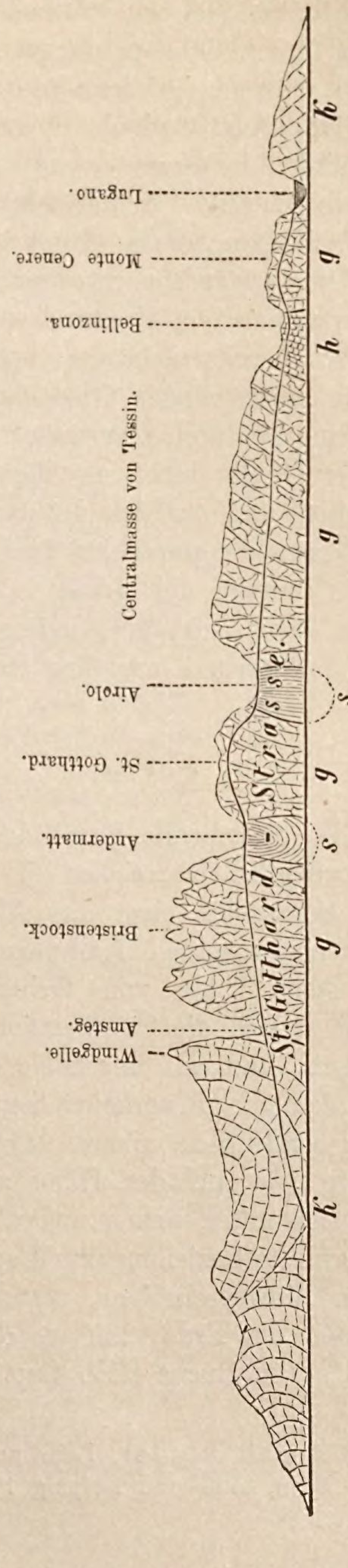


Fig. 82.
Geologisches Querprofil des St. Gotthard.
k Kalk. g Gneiss und Granit. s Schiefer (metamorphische). h Hornblendeschiefer.

breites Plateau dar; auf dem höchsten Punkte der Passhöhe befindet sich das Gotthardhospiz. Von hier aus begegnet man sowohl in der Richtung nach Andermatt als auch nach Airolo Granit in mächtigen, aufgerichteten Bänken. Dieselben sind am Nordabhang nach Süden geneigt; am Südabhang hingegen fallen sie in nördlicher Richtung ein, und so entsteht der bekannte Fächer des St. Gotthard. Im Urserenthale (Andermatt) wie im Thale von Airolo treffen wir am Fusse der krystallinischen Gesteine auf vollständig umgebogene Schichten von dunklem Schiefer. Weiter folgt nach Norden eine krystallinische Masse mit Fächerstructur im Bristenstock und ebenso im Süden jenseits Airolo und sogar eine zweite südlich von Bellinzona. Offenbar drangen die krystallinischen Massen hier empor, als sich die übrigen (jüngeren) Schichten bereits abgelagert hatten. Diese wurden gleichzeitig mit den mächtig aufstrebenden Gneisslagern zwar allmählich, aber durch lange Zeiträume hindurch unausgesetzt gehoben, bis endlich die Decke zerriss und der Gneiss nicht nur hervortrat, sondern sich auch fächerförmig ausbreitete und zugleich die darüber liegenden jüngeren Schichten nach der Aussenseite gewaltsam umbog. Meisterhaft schildert uns Goethe diesen Vorgang im Faust (2. Theil, S. 297 f. im 5. Band der Cotta'schen Ausgabe), indem er den in der Tiefe brummenden und polternden Seismos sprechen lässt:

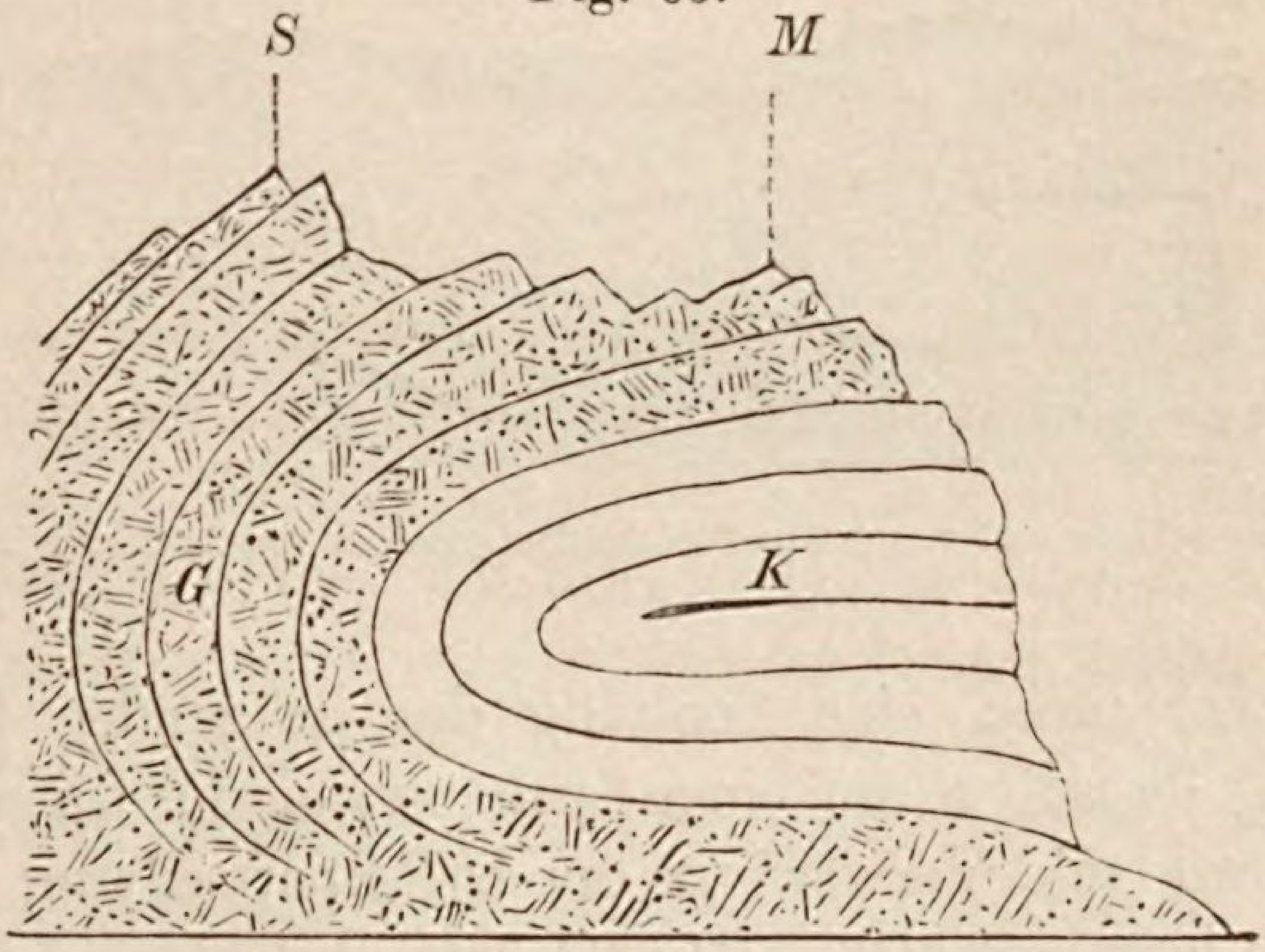
„Einmal noch mit Kraft geschoben,
Mit den Schultern brav gehoben!
So gelangen wir nach oben,
Wo uns alles weichen muss.“

Das beistehende Profil des Mettenberges (Fig. 83) giebt uns ein ausserordentlich lehrreiches Bild von den mächtigen Schichtenstörungen, deren Schauplatz einst das Alpengebiet war. An diesem Berge erscheint eine mächtige Kalkmasse K knieförmig umgebogen; sie stürzt nach dem Thale von Grindelwald gegen 1000 Meter tief ab. Hier lässt sich die Stratification des Kalkes in ihrem ganzen Verlaufe verfolgen, und auf der Höhe des Berges erkennt man deutlich, dass die Schichtenfolge verkehrt liegt gegen die am Fusse bei Stieregg, im Hintergrunde des unteren Grindelwaldgletschers, beobachtete. Bei Stieregg wie auf der Höhe zeigt der Gneiss dieselbe Structur; er bleibt sich unter, neben und über dem Kalk vollkommen gleich, ohne die geringste Beziehung zur Lagerung[1]). Indem wir über jene Gneissmassen hinwegschreiten, wandeln wir gewissermassen auf den Eingeweiden der Erde, und es dünkt uns, wie wenn hier jene Worte Hiob's (im Buche Hiob Cap. 9, V. 5) zu That und Wahrheit ge-

[1]) Bernh. Studer, Lehrbuch der physikalischen Geographie und Geologie. Bern, Chur und Leipzig 1847. Bd. II, S. 157.

worden wären: „Gott versetzet Berge, ehe sie es inne werden, die er in seinem Zorn umkehret." In den Schweizer Alpen ist es beinahe Regel, dass das Knie der C-förmigen Biegung den Hochalpen zugewandt ist, als ob der den krystallinischen Massen näher gelegene Theil der Sedimentärgesteine mit ihnen gehoben und dann übergestürzt wäre. Doch fehlt es keineswegs an Ausnahmen: so ist das Knie der Brienzergräthe gegen Nord gerichtet, und in weit grösserer Ausdehnung noch zeigt die Hauptkette von der Gemmi bis an die Diablerets diese Biegung an ihrem Nordabfall[1]). Bisweilen biegt sich der Schenkel eines C-förmigen Schichtensystems nochmals über, und so entsteht eine S-förmige Lagerung (so am Grat ob Baberg, am Brünnelistock).

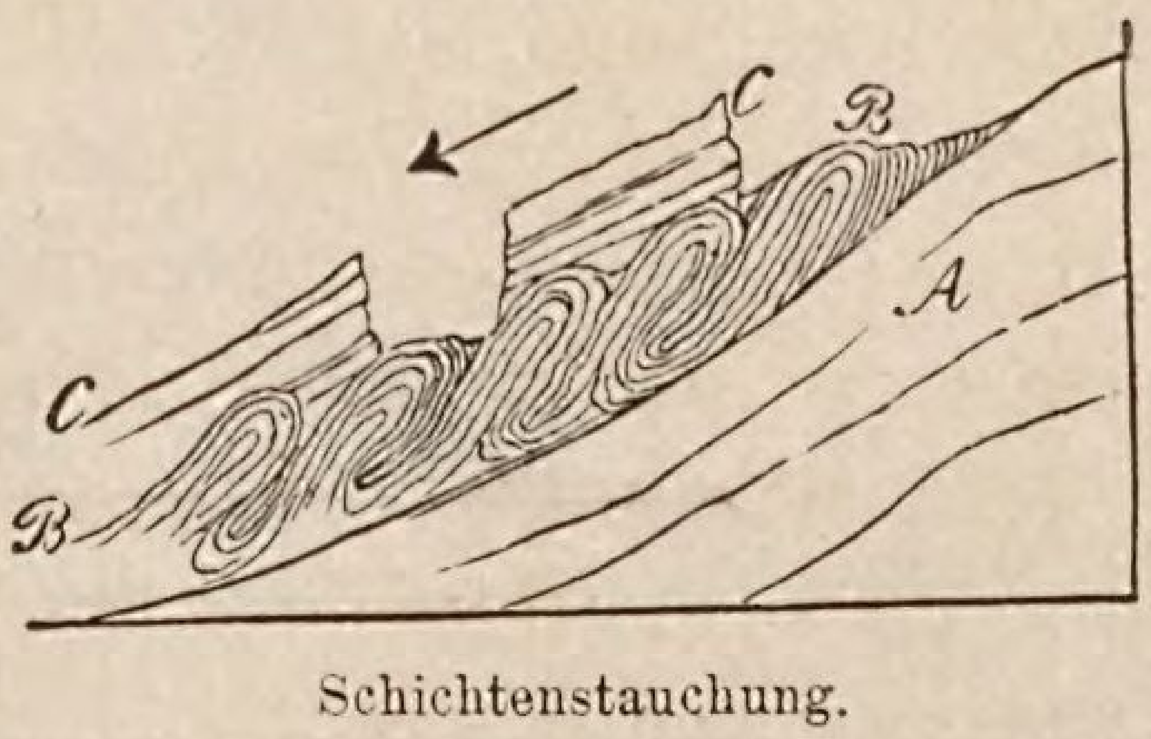
Fig. 83.



Geologisches Querprofil des Mettenberges.
G Gneiss. S das kleine Schreckhorn.
K Kalkstein. M Mettenberg.

Die Erhebung der Gebirge war jedoch noch von ganz anderen Vorgängen begleitet als von den geschilderten. Waren zwischen bereits starr gewordenen Gesteinsschichten (Fig. 84, A und C) solche von plastischer, noch biegsamer Beschaffenheit (B) eingeschaltet, z. B. als Schlamm abgesetzte Thone, so wurden diese Massen bei der Aufrichtung der Gebirge von oben nach unten gedrängt, und die ganze hängende Schichtenreihe äusserte das Bestreben, auf der schiefen Ebene herabzugleiten. Die tieferen Partien der plastischen Schicht wurden aufgestaut und zusammengepresst und nahmen die auffallendsten Windungen und Faltungen an, obwohl sie von vollkommen starren, parallel liegenden Bänken eingeschlossen waren.

Fig. 84.

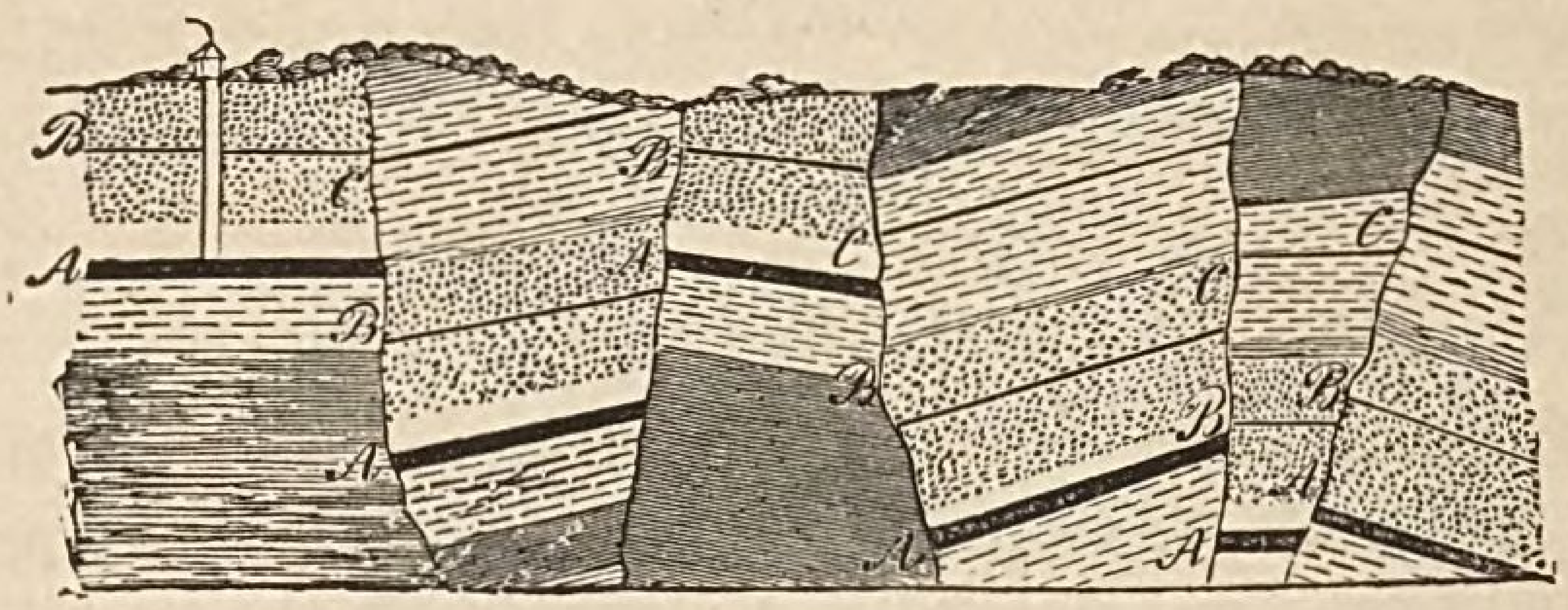


Schichtenstauchung.

[1]) B. Studer, l. c. Bd. II, S. 216 f.

Ferner waren mit der Aufrichtung und Faltung der Gebirge sehr häufig Spaltenbildungen und Verwerfungen verbunden. Sie traten dann ein, wenn die Biegung die Dehnbarkeit der Gesteinsmassen einigermassen überschritt. Gebirgstheile, welche durch Spalten von einander geschieden wurden, konnten nun von localen Bewegungen und Schichtenstörungen betroffen werden, an denen wohl das eine, nicht aber auch das andere Gebirgsglied Antheil hatte. Die auf solche Weise hervorgebrachten Verrückungen nennt man Verwerfungen (Dislocationen), die Spalten aber, durch welche dieselben möglich wurden, Verwerfungsspalten (Dislocationsspalten) (Fig. 85). Die Ursache der

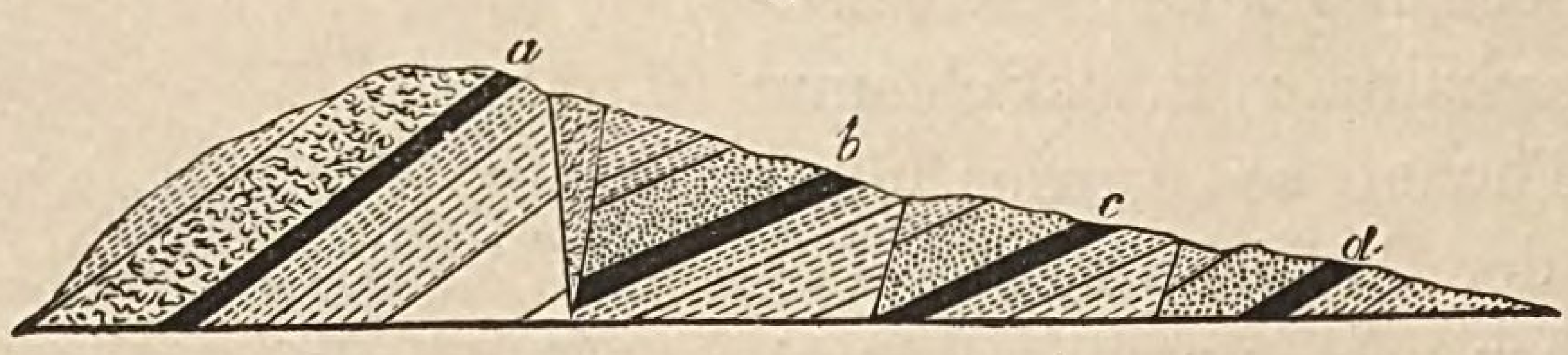
Fig. 85.



Vielfach zerstückelte und verworfene Steinkohlenformation von Auckland in Durham. A, B, C Kohlenflötze.

Verwerfung war meist eine Senkung des hangenden Gebirgstheiles, eine Rutschung desselben auf einer Spaltenwand des Liegenden; höchst selten nur wurde die Verwerfung durch Emportreibung des liegenden Gebirgstheiles hervorgerufen. Die Grösse der stattgehabten Niveauveränderung heisst die Sprunghöhe. Sie beträgt oft nur wenige Centimeter, oft auch einen oder mehrere Meter, in einzelnen Fällen aber sogar mehrere Hunderte von Metern. Liefen die Verwerfungsspalten parallel oder nahezu parallel, so konnte ein treppenförmiger Schichtenbau (Fig. 86) entstehen, welcher scheinbar aus regelmässig abwechselnden Schichtenreihen zusammengesetzt ist, während sich doch in Wirklichkeit ein und derselbe, aber in kurzen Zwischenräumen verworfene Schichtencomplex wiederholt.

Fig. 86.

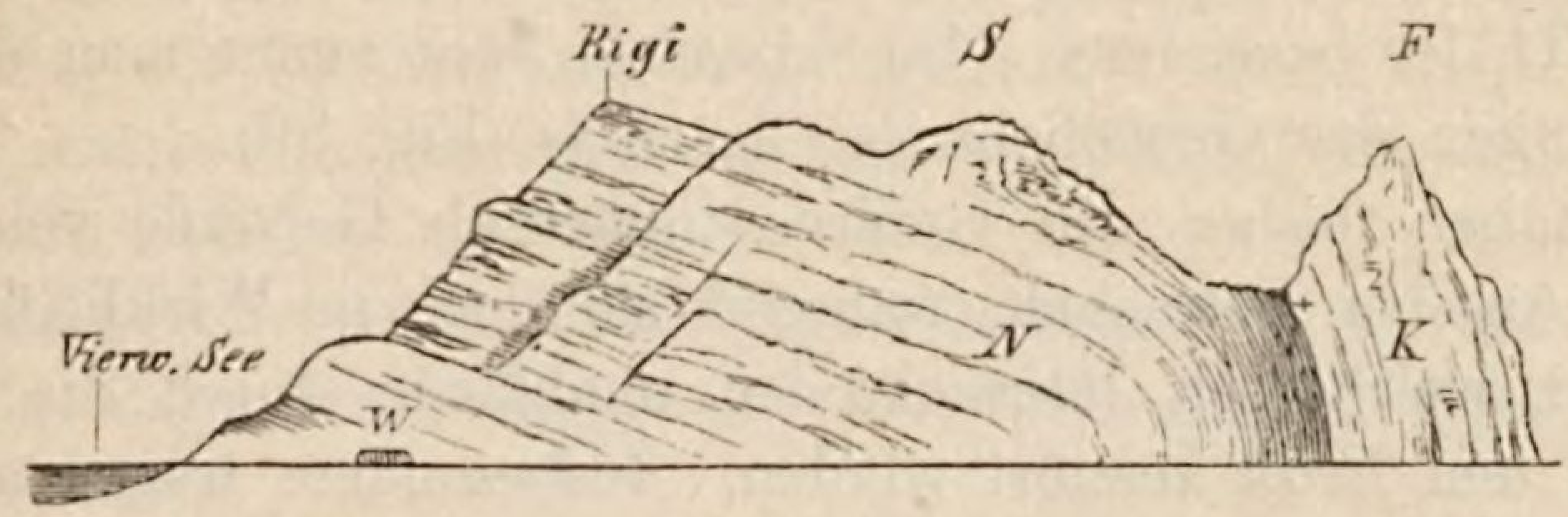


a, b, c, d Flügel eines treppenförmig verworfenen Kohlenflötzes.

Nicht selten wurde durch die vorgängige Bildung von Spalten und Verwerfungen den Schichtenaufrichtungen, Ueberkippungen und Faltungen ein besonderer Charakter aufgeprägt. Bei dem Rigi fallen, wie aus

dem beifolgenden Profil (Fig. 87) ersichtlich ist, die Schichten nur nach einer Seite; der Bergrücken zeigt auf dem einen und zwar auf dem flacheren Abhang die Schichtenfläche, auf dem anderen, schroffen Abfall hingegen die Schichtenköpfe. Der plötzliche Abbruch derselben weist darauf hin, dass hier einstmals ein tiefer Spalt vorhanden war,

Fig. 87.



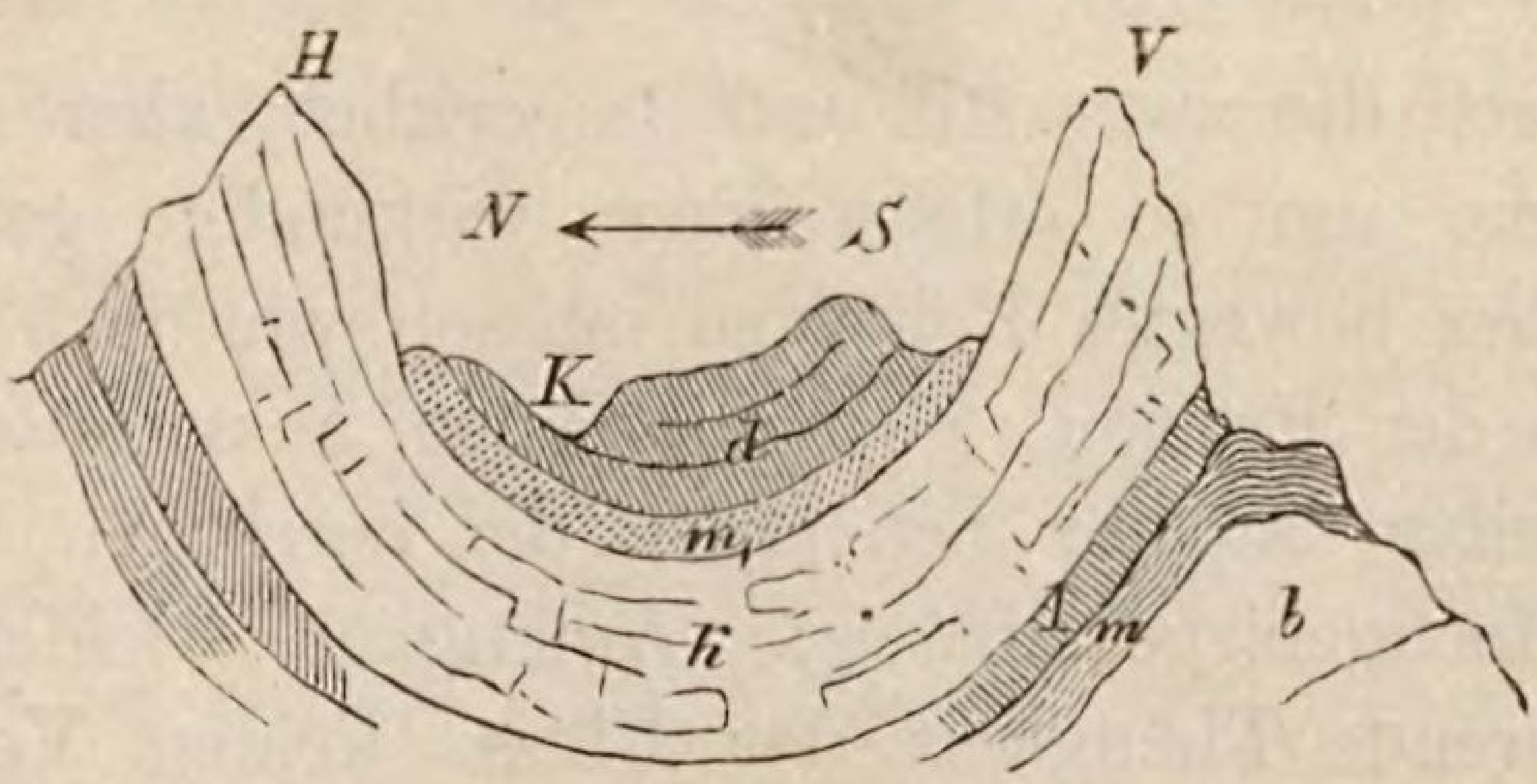
Der Rigi.

W. Wäggis. S. Schneealpli. F. Fitznauerstock. N. Nagelflue. K. Secundärer Kalkstein.

ehe jene Kette durch eine lineare Hebung aufgerichtet wurde. Früher erklärte man eine derartige Lagerung der Schichten durch Annahme einer Klappenbewegung (mouvement de bascule); doch fehlt hier wie in den meisten ähnlichen Fällen der Raum zu einer solchen Drehung, was aus dem Rigiprofil auch insofern geschlossen werden darf, als der Bergrücken des Rigi offenbar auf die ihm vorliegenden Massen angepresst ist.

War ein Schichtencomplex von zwei parallelen Spalten durchzogen, so konnte die centrale Zone innerhalb derselben, wenn sie von

Fig. 88.



Die Mulde des Kaisergebirges.

H — Hinterkaiser. V — Vorderkaiser. K — Kaiserthal. b — Buntsandstein der Alpen. d — Keuperdolomit. k — Unterer Keuperkalk. l — Lettenkohlenschichten. m, — Unterer Muschelkeuper. m — Muschelkalk.

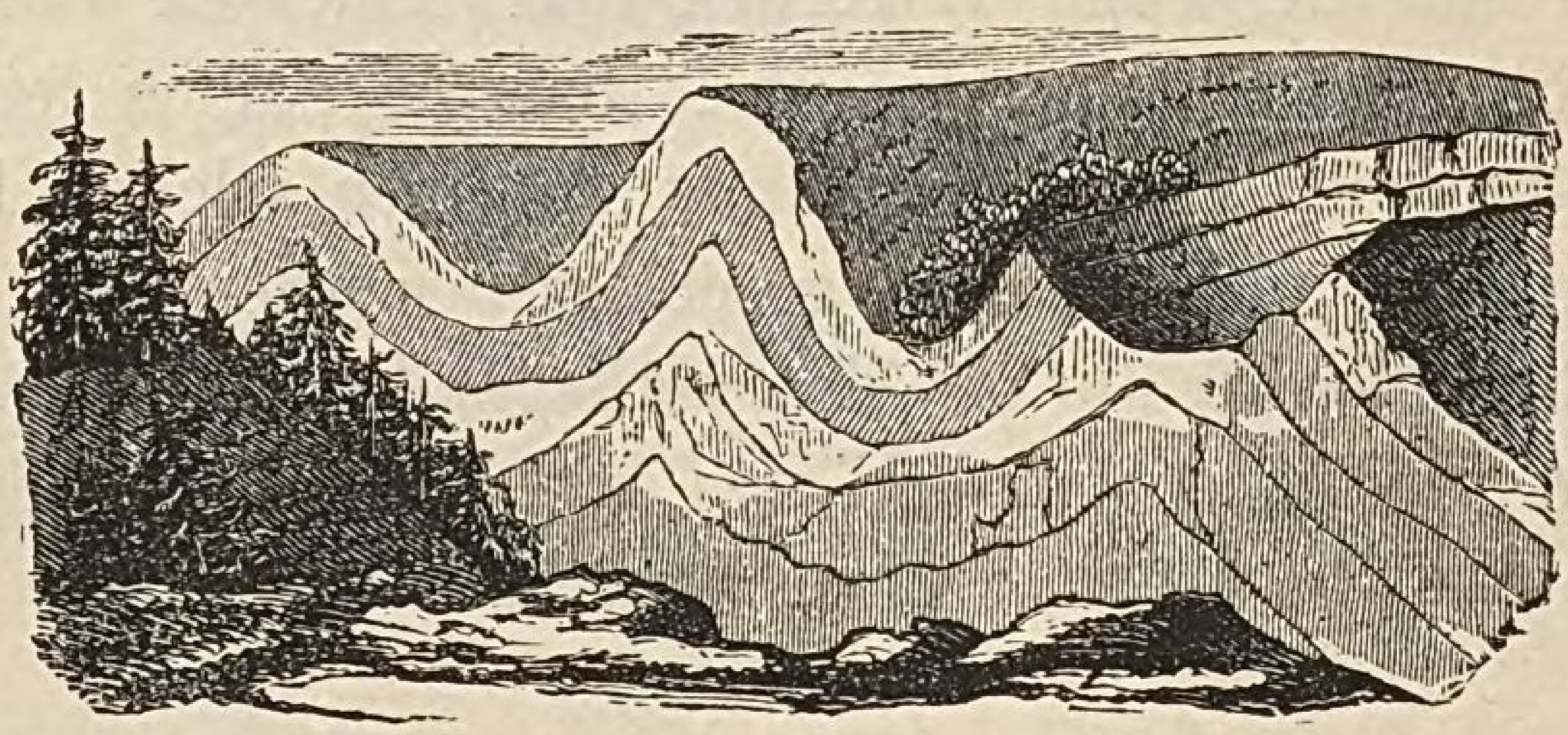
beiden Rändern her eine Hebung erfuhr, zu einer Mulde umgebogen werden, an deren steilen Aussenseiten nun die blossen Schichtenköpfe zu Tage traten. Die zwei Züge des Kaisergebirges im Südosten von Kufstein (s. F. 88) gewähren uns ein vorzügliches Beispiel einer solchen Mulde. Ihr nördlicher Rand wird durch den Hinteren oder Ebser

Kaiser gebildet, und den Vorderen oder Wilden Kaiser muss man als ihren Südrand ansehen [1]).

Nicht selten entstanden beim Aufsteigen der Gesteinsmassen auf dem Kamme der Anschwellung mächtige Spalten; diese wurden durch die weitere Biegung der Schichten allmählich vergrössert, und so stellte sich eine Aufberstung der Sättel auf ihrem Rücken ein. Diesem entlang laufen demnach vielfach Thäler, welches man als Spaltungs- oder anticlinale Thäler bezeichnet. Im Schweizer Jura nennt man derartige Aufsprengungen des Gewölbebaues Clusen (s. Fig. 89).

Wir haben bisher die Gebirge immer als Gebäude von hohem Rang und Ansehen betrachtet, während sie doch in Wirklichkeit nur Ruinen sind, welche seit Jahrtausenden unablässig durch die Meteorwasser und den Frost zerstört werden. Insbesondere tragen alle älteren Gebirge einen ruinenhaften Charakter an sich. Unsere Alpen, obwohl noch relativ jung, bildeten jedenfalls ursprünglich eine mit sanft geschwungenen Höhenzügen besetzte Tafelzone. Erhielt dieselbe

Fig. 89.



Profil im Schweizer Jura. Rechts ein Spaltungsthal, links Faltungsthäler.

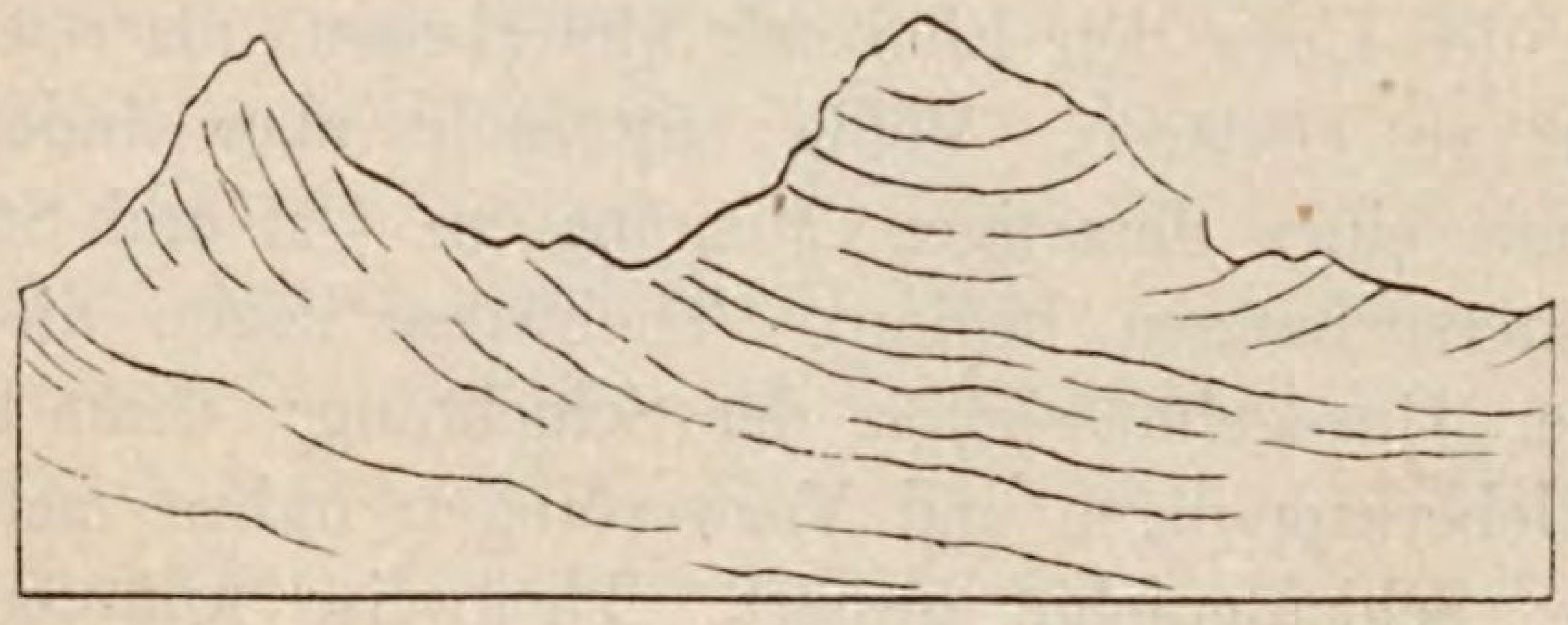
auch später durch die zwar still und unmerklich, aber während ungeheurer Zeiträume um so erfolgreicher wirkenden gebirgerhebenden Kräfte ein reicher bewegtes Relief, so müssen wir doch einem anderen Factor, nämlich der Erosion, ebenfalls einen ausserordentlich grossen Antheil zuschreiben an der Schöpfung der herrlichen Gebirgsformen, welche unser Hochgebirge aufweist. Anfänglich erleiden die Gebirge durch die erodirende Thätigkeit der Flüsse keinen Verlust an landschaftlicher Schönheit; im Gegentheil werden hierdurch die Gegensätze zwischen Berg und Thal beständig verschärft; tiefe Schluchten werden durch das Wasser ausgenagt, und der Neigungswinkel der Abhänge wird vergrössert. Die Verheerungen des Wassers sind in einzelnen Fällen so bedeutend, dass der orographische Bau des Gebirges oft kaum noch zu erkennen ist. Das Wasser schafft Berge da, wo sich

[1]) K. Haushofer in der Zeitschrift des Deutschen Alpenvereins. Bd. I. Vereinsjahr 1869—1870. München 1870. S. 248.

eigentlich Thäler finden sollten (vgl. das Profil von den Schwyzer Mythen, Fig. 90), während es anderwärts Thäler an solchen Stellen ausnagt, wo sich Berge erheben sollten (Fig. 91).

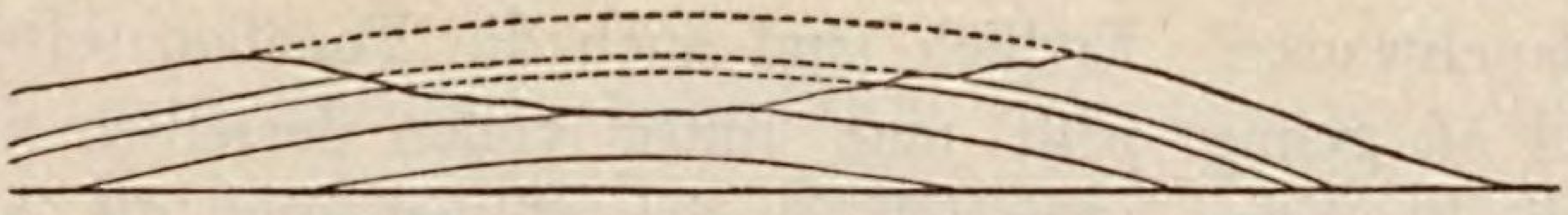
Trotzdem müssen wir behaupten, dass unter der Herrschaft der Erosion einstmals die Gebirge aller ihrer landschaftlichen Reize beraubt werden; denn selbst die stolzesten Hochgebirge werden durch das Wasser nach und nach erniedrigt. Mit geringerem Gefäll eilen dann die Flüsse die Thäler hinab; an denselben Stellen, wo sie ehemals das Gestein ausfurchten, schütten sie nun die Thalmulden auf. Indem sie die Höhen abtragen und den Schutt in den unteren Theilen der Gebirge ablagern, werden die Profile besänftigt, und es entschwinden die schönsten Züge der Gebirgswelt. Vor allen Dingen verliert diese jene

Fig. 90.



Querprofil der Schwyzer Mythen.
Durch die Erosion werden Berge geformt, wo sich Thäler vorfinden sollten.

Fig. 91.



Durch die Erosion werden Thäler geschaffen, wo Berge stehen sollten.

herrlichen Zierden, aus denen uns ihr Spiegelbild entgegentritt: die Seen. Mögen sie völlig abgeschlossen liegen oder von einem Fluss durchzogen werden: jedes Wasser, was ihnen zu- oder durch sie hindurchrinnt, jedes Gewitter und jedes schmelzende Schneefeld führt Sand und Schutt in ihr Becken, und jeden Tag vermindert sich, wenn auch unmerklich, der Rauminhalt dieser Gefässe. Viele Alpenseen sind in historischen Zeiten entschwunden; doch haben die Meteorwasser in den Alpen und ebenso in den Felsengebirgen noch nicht so viel Zeit gehabt, um alle jene Seen auszufüllen und in glatte Thalebenen zu verwandeln. Wir schliessen daraus, dass beide später aufgestiegen sind als die Pyrenäen und der Kaukasus, weil sie ihre Jugendreize sich noch erhalten konnten. Geologisch gesprochen sind die Alpen und die Felsengebirge jugendliche Erhebungen der Erdoberfläche, jünger jedenfalls als die Pyrenäen und der Kaukasus. Da die Gebirgsseen in

unseren östlichen Alpen fehlen und am häufigsten in der Schweiz auftreten, so würde die Vermuthung berechtigt erscheinen, dass die westlichen Alpen eine jüngere Erhebung als die Ostalpen seien. Und wirklich bestätigt auch die Geologie vollständig diese Annahme; die Hebung stand in den Ostalpen viel früher still als in den westlichen Alpen [1]).

Abtragung und Ausschüttung arbeiten einander überall in die Hände; ein grosser Nivellirungsprocess geht durch die ganze Natur und endet einstmals damit, dass sich an Stelle der heutigen Gebirge weite Ebenen ausbreiten werden, von denen der Geolog allenfalls noch nachweisen kann, dass sie früher Gebirgen von grösserer oder geringerer Mächtigkeit als Grundlage dienten.

Die schematische Entwicklung der verschiedenen Lagerungsformen, wie sie oben gegeben wurde, hat vielleicht bei dem einen oder dem anderen der Leser den Eindruck hinterlassen, als seien dieselben überall leicht zu erklären. Völlig enttäuscht aber findet man sich, wenn man mit einer derartigen Meinung an Ort und Stelle im Gebirge die Untersuchungen beginnt. Theilweise liegen die Schwierigkeiten in der Unregelmässigkeit der Schichtung; denn Erhebungen, Biegungen, Ueberkippungen und Verwerfungen haben fast überall die Ordnung der Schichtenfolge gestört. Theilweise knüpfen sich jene Schwierigkeiten an die Beschaffenheit des Bodens; denn die Felsarten verändern häufig ihren ursprünglichen Charakter: Mergel und Thone verwandeln sich in Schiefer, Kalke in krystallinischen Marmor, Dolomit und Rauchwacke. Endlich sind auch die Fossilien selten gut erhalten, und oft genug trifft man unter vielen derselben nur wenige charakteristische Arten. Speciell in den Alpen sind die Lagerungsverhältnisse so manigfach und so oft scheinbar systemlos, dass bereits der Genfer Gelehrte H. B. de Saussure den Grundzug in dem geologischen Bau der Alpen in das Wort zusammenfasste: In den Alpen ist nichts beharrlicher als der Wechsel.

Immerhin ist der Forscher jetzt viel glücklicher daran als ehedem. Er besitzt für viele Gebiete bereits geologische Karten und Profile; er kennt ferner mancherlei Gesetze in der Entwicklungsgeschichte der Gebirge und vermag daher manigfache Schwierigkeiten rasch zu überwinden. Viele Räthsel bleiben freilich zunächst noch ungelöst; doch werden durch Ermittelung neuer Thatsachen und durch Aufstellung neuer Gesichtspunkte auch solche schwierige Fragen endlich ihre Erledigung finden. Gerade in dieser Hinsicht gewähren geologi-

[1]) O. Peschel, Abhandlungen zur Erd- und Völkerkunde (herausgeg. von J. Löwenberg). Leipzig 1878. Bd. II, S. 321 ff.

sche Untersuchungen einen hohen Genuss. Die Geologie hat die Berge genöthigt, ihre Selbstbiographie uns zu offenbaren; sie hat gezeigt, dass man aus den Linien, welche die geologischen Profile aufweisen, ein Bild von dem Kampfe gewinnt, welchen die Naturkräfte in früheren geologischen Zeitaltern geführt haben und heute noch führen. Wir erkennen aus jenen Linien das Ringen der nach oben dringenden Massen mit denjenigen, welche im Zustand der Ruhe verharren wollen oder der Kraft der Schwere folgend nach unten drängen; wir sehen ferner, wie andere Kräfte die Spuren jenes Kampfes wieder verwischen und die Stoffe forttragen, damit der Kampf auf einem anderen Schauplatz von neuem beginne.

Doppelt anziehend ist es, das Ringen dieser Naturkräfte zu belauschen, da aus solchem Kampfe Werke von hoher ästhetischer Wirkung hervorgegangen sind: unsere Gebirge. Die Welt war wohl immer schön, auch vor der Schöpfung des Menschen, aber sicher nicht schöner, wenigstens nicht die Gebirgswelt; denn alle jüngeren (insbesondere die tertiären) Gebirge erscheinen an Energie der Erhebung viel leidenschaftlicher als die Gebirge früherer Zeitalter.

Bis hierher haben wir uns mit Thatsachen und mit Folgerungen aus den Thatsachen beschäftigt. Sollen wir aber das eigentliche Wesen der gebirgerhebenden Kräfte näher bezeichnen, so müssen wir unsere Scheu und unseren Widerwillen vor dem Hypothetischen überwinden und das Gebiet der Vermuthungen betreten, indem wir zunächst kritisch mustern, was bereits über die Geheimnisse des Erdinnern gesagt worden ist.

Skandinavien ist ein aufsteigendes Gebirge oder vielmehr eine aufsteigende Hochebene. Es liegt zwischen zwei Meeren, der Nordsee und der Ostsee. Wir können also hier nicht zwischen einem oceanischen und einem festländischen Abhang unterscheiden; doch darf die Ostsee immerhin als ein Binnenmeer betrachtet werden, und wenn einer der beiden Abhänge als oceanisch unterschieden werden muss, so ist es sicherlich der norwegische. Auch dort auf jener „oceanischen“ Seite steigt das skandinavische Hochland schroff empor und breitet sich dann in Ebenen aus, die sich schliesslich sanft nach den schwedischen Ufern herabsenken. Als nun Karl Vogt auf seiner Nordfahrt Skandinavien besuchte, glaubte er in den gehobenen Felsen selbst den Sitz der Hebungskraft zu erkennen. Er behauptete zunächst, dass die Stockwerke der grossen skandinavischen Steinplatte ursprünglich aus geschichteten Felsarten bestanden und durch allmähliche Umwandlung in krystallinische übergegangen seien. „Alles, was krystallisirt“, ruft er aus[1]), „dehnt sich aus. Wo also die Umbildung einer im

[1]) Karl Vogt, Nordfahrt entlang der norwegischen Küste etc. Frankfurt a. M. 1863. S. 391.

Innern formlosen Masse in krystallinische Massen erfolgt, da muss auch die räumliche Ausdehnung derselben Massen eine nothwendige Folge sein". Allerdings könnte man behaupten, dass Wasser, welches bei 4° C. bekanntlich seine höchste Verdichtung erreicht, sich wieder ausdehnt, wenn es krystallinisch wird, d. h. in Eis übergeht, und zwar unter Entwicklung einer solchen Kraft, dass es hohle eiserne Kugeln, die mit Wasser gefüllt, dann fest verschlossen und niederen Temperaturen ausgesetzt wurden, zersprengt hat wie eine Granate. Ferner hat sich neuerdings gezeigt, dass auch Wismuth beim Erstarren sich ausdehnt [1]). Allein das Verhalten dieser Körper, welche sich beim Uebergang aus dem flüssigen Aggregatzustand in den festen ausdehnen statt zusammenziehen, ist etwas Vereinzeltes oder, wie wir in solchen Fällen zu sagen pflegen, etwas „Anormales". Ausser den genannten Körpern kennt man keinen, welcher beim Eintritt der Erstarrung oder der Krystallisation eine Vergrösserung seines Volumens und eine Verminderung seines specifischen Gewichtes erfährt [2]).

Bisher glaubte man auch von dem Eisen, dass es sich bei seiner Erstarrung ausdehne, und stützte sich hierbei auf folgende, den Eisengiessern längst bekannte Thatsache: Wenn ein Stück festen Gusseisens in ein Gefäss geworfen wird, welches mit geschmolzenem Eisen von derselben Qualität gefüllt ist, so schwimmt das erstere auf dem letzteren; es geschieht sogar, dass das Stück Eisen, wenn man es auf den Boden hinabstösst, sofort wieder emporsteigt, sobald die untertauchende Kraft nachlässt. Mallet's sorgfältige Untersuchungen [3]) haben jedoch zu dem Ergebniss geführt, dass das specifische Gewicht des erkalteten Gusseisens 7,170, des gluthflüssigen hingegen nur 6,650 beträgt; jenes ist also specifisch schwerer als dieses. Demgemäss beobachtete man auch keinerlei Volumenvergrösserung im Augenblick der Erstarrung. Die aus zwei auf einander passenden Schalen gebildete Kugelform, in welche Gusseisen gegossen wurde, zeigte nach Erkaltung der Masse keinerlei Expansion. Dementsprechend erwies sich auch der centrale

[1]) Nature, Vol. X, Nr. 243. 25. June 1874, p. 156.

[2]) Gustav Bischof erwähnt zwar, dass einige Mineralien bei der Krystallisation die festen Hüllen zersprengen, von denen sie umgeben sind (so der Wavellit von Langenstriegis bei Frankenberg den harten Kieselschiefer), wobei er jedoch unentschieden lässt, ob hier wirklich eine Volumenvergrösserung vorliegt oder ob durch die Art, wie die sich bildenden Krystalle sich über einander lagern, diese Wirkung hervorgebracht wird. Gustav Bischof, Lehrbuch der chemischen und physikalischen Geologie. Bonn 1863. Bd. I, S. 134 ff.

[3]) Nature, l. c. p. 156 sq. Vgl. auch: Rob. Mallet: „On volcanic Energy" in den Philosophical Transactions of the R. Soc. of London. Vol. CLXIII (1873), p. 201.

Theil der in jene Schalen gegossenen Kugel weniger dicht als der äussere, während doch das Gegentheil erwartet werden durfte, wenn mit dem Erstarren der Eisenmasse eine Volumenvergrösserung verbunden wäre. Wenn trotzdem Eisenstücke auf einer gluthflüssigen Masse von Eisen schwimmen, so ist daran zu erinnern, dass das specifische Gewicht dieses Metalls zwischen 7,7 und 6,3 schwankt; wo aber die schwimmenden Stücke aus gleichem Stoffe bestehen wie die gluthflüssige Masse, da muss eine abstossende Kraft (repellent force) angenommen werden, deren Natur noch zu erforschen ist. Doch hat Mallet erkannt, dass sie unter sonst gleichen Umständen abhängig ist von dem Verhältniss zwischen dem Volumen und der eingetauchten Oberfläche des Eisenstückes, sowie von dem Unterschied zwischen der Temperatur des starren und des gluthflüssigen Eisens. Aehnlichen Verhältnissen zwischen Dichtigkeit und Aggregatzustand begegnen wir auch bei anderen Metallen, so bei Blei, welches nach Mallet im festen Zustande ein specifisches Gewicht von 11,361, im flüssigen aber nur von 11,07 hat; trotzdem schwimmen dünne Stücke mit breiter Oberfläche immer auf der geschmolzenen Bleimasse.

Von besonderer Bedeutung ist es, dass bei der Verwandlung von geschichteten Silicatgesteinen, von welchen überall die Entscheidung ausgeht, in krystallinische und wasserfreie Felsarten ebenfalls stets eine Abnahme der Körpermasse stattfindet; sie verdichten sich also und werden specifisch schwerer. So verlieren die Gemengtheile des Granits, wenn sie krystallinisch werden, nach Bischof 10 Procent ihres Rauminhalts. Wir können uns also durch krystallinische Umbildungen nicht sowohl das Aufsteigen, sondern vielmehr das Sinken von Küsten wie bei Grönland und ebenso manche örtliche Senkungen in Gebirgen, die Entstehung von Gangklüften und Verwerfungen erklären. Da das Einschrumpfen nicht bloss auf die senkrechte Richtung vertheilt bleibt, sondern auch in wagerechter Richtung eintreten wird, so müssen dadurch Spalten entstehen, sowohl auf dem festen Lande, wie auf der Sohle der Oceane. Jedenfalls entdecken wir bei dem Vorgang der krystallinischen Wandelung nicht die Kraft, die wir suchen; sie hat ganz sicherlich nichts mit der Aufrichtung von Gebirgen oder Hochländern zu thun, sondern tritt ihr sogar feindlich entgegen.

Man hat ferner die Chemie zu Hilfe gerufen, um das Aufsteigen der Gebirge zu begründen. Nach den Lehren Gustav Bischof's erfolgen, wenn Kohlensäure auf Silicatgesteine trifft, Zersetzungen, und das Zersetzte nimmt nach diesem Vorgange einen grösseren Raum ein als vorher, mit anderen Worten: seine specifische Schwere vermindert sich, und sein Volumen nimmt zu. Diese Zunahme ist höchst beträchtlich. Bei Gneissen und Graniten schwankt sie von 30 – 65 Pro-

cent; bei Feldspathen erreicht sie 100 Procent, und bei Basalten überschreitet sie sogar noch dieses Mass, so dass ein unzersetztes Basaltlager von einer deutschen Meile Mächtigkeit nach der Zersetzung um eine volle Meile, also selbst bis zu Gipfelhöhen des Himalaya, aufsteigen könnte, zumal mit der Zersetzung die Starrheit gelöst wird und aus Felsen mürbe, bewegliche Massen entstehen [1]). Dieses Aufquellen entspricht mit erfreulicher Genauigkeit den Erscheinungen, für welche die vergleichende Erdkunde eine Erklärung sucht; vor allem gewährt es uns die Vorstellung eines beständigen Kreislaufes; denn die zersetzten Gesteine gelangen früher, später oder sehr spät durch die Abreibung der Festlande wieder auf die Sohle der Meere und werden dort mit der Zeit von der Erdwärme krystallisirt, um dann von neuem zersetzt und von neuem gehoben zu werden. Der innere Bau der Gebirge und das Aufsteigen von Hochebenen gleicht eben so gut einem Aufquellen von unten als einem Faltenwurf oder einer Runzelung um einen eingeschrumpften Gluthball. Wir vermögen uns durch eine chemische Auflockerung des Erdinnern ohne grosse Anstrengung unserer Phantasie das Aufschwellen der Gebirge, der Hochebenen und so flach gewölbter Landmassen wie das europäische Russland vorzustellen. Noch viel wichtiger für uns ist es aber, dass der bedeutungsvolle Zusammenhang der Erdfesten dann als eine Nothwendigkeit sich ergiebt; denn die chemische Zersetzung geht von dem Trockenen nach unten und lässt das Land stets am Lande anwachsen, Gebirge nur auf einem bereits gehobenen Sockel emporsteigen, insofern als Zersetzungsmittel die Kohlensäure dienen muss, welche nur auf dem trockenen Lande in hinreichender Menge vorbereitet wird, nämlich durch die Verwesung der Thier- und Pflanzenreste. Wohl enthält auch das Seewasser Kohlensäure, allein in äusserst geringen Mengen. Nach Forchhammer's Untersuchungen treten nur Chlor, Schwefelsäure, Kalk, Kali, Magnesia und Natron bei der quantitativen Bestimmung des Salzgehaltes im Meer in erheblichen Bruchtheilen auf [2]). Das Meer hat zwar auch Thiere und Pflanzen; aber gerade sie sind es, welche theils die Kohlensäure fesseln oder beständig im Kreislauf erhalten, theils wie die Korallen Bauwerke aus kohlensaurer Kalkerde aufführen. Auf der Sohle der Oceane können daher Gebirge nicht entstehen. Bilden sich dort Spalten, wie wir zu vermuthen genöthigt waren, und dringt das Seewasser durch sie in die Tiefen ein, so werden, wo örtlich die Bedingungen zur Bildung von Laven vorhanden sind, vulcanische Inseln aufsteigen, nicht aber Gebirge, Festlande und Hochebenen. Das Auf-

[1]) Gustav Bischof, Lehrbuch der chemischen und physikalischen Geologie. Bonn 1863. Bd. I, S. 336 ff.

[2]) Gustav Bischof, l. c. Bd. I, S. 451.

quellen des Landes wird daher fortschreiten mit seinem Auftauchen aus dem Meer, wodurch das, was dem Ufersaume zunächst liegt, der Kohlensäure zugänglich wird, die dort neue Zersetzungen und ein neues Anschwellen hervorruft, so dass überhaupt dieses Wachsthum nur dort eine Grenze finden wird, wo die unzersetzten Silicatgesteine etwa aufhören.

Wir haben mit Hilfe einer Kraft, die Gustav Bischof zuerst beachten lehrte, also erklärt, warum die Festlande, die wir als Hochebenen auf der Sohle eines durchschnittlich 1880 Faden tiefen Oceans erkannten, unter sich in geschlossenen Massen zusammenhängen, indem sich immer nur Land an Land bilden konnte. Wir sind uns dabei im stillen stets bewusst geblieben, dass jene scharfsinnige Lehre von den Hebungskräften vorläufig noch unter die Hypothesen zählt. Der Vorgang der Zersetzung muss nämlich immer in grossen Tiefen stattgefunden haben, und es regt sich der Zweifel, den übrigens der Bonner Gelehrte selbst schon ausgesprochen hat, ob die chemische Kraft wirklich ausreiche, den Druck der auflagernden Schichten zu überwinden [1]). Auch eignen sich jene chemischen Umwandlungsprocesse nur dazu, die Entstehung geräumiger Tafelländer zu erklären; aber schwierig erscheint es, das Aufsteigen von Gebirgsketten und namentlich den auffallenden Parallelismus derselben z. B. im Schweizer Jura oder im Appalachen-System auf dieselben Kräfte zurückzuführen.

Niemand denkt wohl daran, dass von den Kräften, welche wir überhaupt kennen, das Licht, die Elektricität oder der Magnetismus irgend eine Hebung der Erdoberfläche zu bewirken vermöchten; folglich haben wir nur die Wahl, sie entweder den chemischen Kräften oder der Erdwärme zuzuschreiben. Nun geziemt es gewiss nicht der vergleichenden Erdkunde, sich in den dreihundertjährigen Kampf zwischen Plutonisten und ihren Gegnern zu mischen und den alten Streit lösen zu wollen. Sie kann vielmehr nichts eifriger begehren als eine endgiltige Entscheidung der Zweifel, um sich dem Sieger, wer er auch sei, heiteren Herzens zu unterwerfen; denn sie sucht ja bei der Geologie nur Antworten auf die Fragen, die sie anregt. Es gilt nun, noch die Ansichten der Plutonisten zu prüfen, und es wird sich zeigen, dass sich auch die plutonische Erklärungsweise mit den von uns gefundenen Gesetzen verträgt.

Wir dürfen keine Zeit damit verschwenden, etwa den Erdbeben oder Vulcanen die Hebung der Gebirge zuzuschreiben; denn erstens

[1]) L. Cailletet wollte gefunden haben, dass unter dem Drucke von 250—300 Atmosphären Zersetzungen fast ganz aufhören, wenn die Temperatur nicht gesteigert werde (Comptes rendus. Tome LXVIII (1869), p. 395). Er wurde jedoch rasch von Berthelot widerlegt (l. c. p. 536).

sind die wahren Ursachen der Erdbeben in vielen Fällen nicht mit Sicherheit zu ermitteln; zweitens sind Senkungen in Folge von Erdbeben weit häufiger beobachtet worden als Erhebungen und drittens wissen wir von dem aufsteigenden Skandinavien, dass es von Erdbeben gänzlich verschont wird. Vulcanische Ausbruchsmassen haben wohl sich selbst aufgeschüttet oder sind in Spalten aufgestiegen; niemals aber gelang es ihnen, angrenzende geschichtete Gebiete in ansehnlichem Masse zu heben oder zu verbiegen, womit jedoch keineswegs bestritten werden soll, dass auf einem vulcanischen Gebiete die aufgeschütteten Massen gehoben werden konnten. „Nirgends lassen sich in den Alpen Aufrichtungen und Ueberstürzungen in directe Beziehungen mit eruptiven Gesteinen bringen; ja gerade in dem Theile von Südtirol, wo die sedimentären Schichten bis zur Juraformation aufwärts vielfach von neueren Eruptivmassen durchsetzt sind, liegen sie weit regelmässiger und ursprünglicher über einander als da, wo solche Durchsetzungen fehlen[1].“ Eduard Suess[2]) weiss nur von einem einzigen Fall, welcher bei Fontana Fredda in den Euganeen zu treffen ist, in welchem durch Trachyt eine ansehnliche Masse von Jura- und Kreidekalkstein abgerissen und gleichsam vorwärts geflösst worden zu sein scheint. Sonst fehlt in den jüngeren vulcanischen Gebieten des mittleren Europa's und Italien's jede Spur einer Erhebung geschichteter Gebirge durch vulcanische Gesteine. Und ebenso wenig wie die vulcanischen Kräfte der Gegenwart im Stande sind, in einer Breite von mehreren Meilen die geschichteten Gebirge zu heben (vgl. S. 204), ebenso wenig vermochten jedenfalls in früheren Zeitaltern die sogenannten eruptiven Massen die geschichteten Lager aufzurichten; vielmehr benützten sie nur wie die Laven der Gegenwart die vorhandenen Spalten und Klüfte, um hervorzutreten und sich auszubreiten.

Nach der Anschauungsweise der Plutonisten kann man die Hebung der Continente und Gebirge vielleicht nicht einfacher und eleganter erklären, als es von Sir John Herschel in einem öffentlichen Vortrage (Familiar Lectures on Scientific Objects, p. 12 sq.) über Erdbeben und Vulcane geschehen ist. Denken wir uns, so lehrt er, die Erde heissflüssig unter einer starren Rinde und die Auflagerung dieser Rinde als Festlande und Meeresboden habe in jedem physischen Momente Gleichgewicht und Ruhe erlangt, so wird schon im nächsten dieses Gleichgewicht gestört; denn durch die Abreibung des festen Landes wird dieses leichter, während der Meeresboden durch die ihm zugeführten Festlandsstoffe, die sich auf ihm ablagern, um eben so viel

[1]) B. v. Cotta, Geologie der Gegenwart. S. 119.

[2]) Die Entstehung der Alpen. Wien 1875. S. 11 f.

mehr beschwert wird. Dadurch erfährt das geschmolzene Erdinnere unter der Sohle der See einen Druck, der es aus dem Gleichgewicht und seiner Ruhe verdrängt. Der flüssige Brei wird also seitlich zu entschlüpfen suchen und an den Rändern der Decke die Centralmassen der Gebirge emporpressen. Hier gleichen also Festland und Meeresboden zwei Wagschalen: wenn die eine belastet wird, steigt die andere empor. Halten wir hier nicht den Schlüssel zu dem Geheimniss, weshalb gerade an den Festlandrändern unsere Gebirge aufgestiegen sind? Wenn wir dennoch zögern, diesen Aufschluss uns anzueignen, so geschieht es, weil er immer nur zulässig wäre, wenn wir noch die erstarrte Rinde der Erde uns als sehr dünn vorstellen dürften. Es hat aber der Astronom Hopkins bewiesen, dass die Rinde der Erde mindestens bis zu einem Viertel oder einem Fünftel ihres Halbmessers starr sein müsse, weil sich sonst das Vorrücken der Nachtgleichen und die Nutation der Erdaxe nicht so zutragen könnten, wie sie beobachtet werden (vgl. S. 286). Aus diesem Grunde hauptsächlich, sowie aus rein geologischen Rücksichten hat Sir Charles Lyell in der Heimath Hutton's, dem man die Renaissance der plutonistischen Lehren zuschreibt, ganz entschieden der Vermuthung eines heissflüssigen Erdinnern in mässigen Tiefen entsagt; auch hat er Gründe angegeben, weshalb er gerade die obige Vermuthung Herschel's für verfehlt hält. Offenbar dachte Sir John bei seiner Vermuthung an die sinkende Südsee und an das Aufsteigen der amerikanischen Anden. Allein auch in diesem Falle stossen wir auf grosse Schwierigkeiten; denn der Boden der Südsee ist fortwährend gesunken trotz der zugeführten Stoffe. Dies könnte sich aber nach Sir John Herschel's Ansicht nur zutragen, wenn die aufgeschütteten Festlandsmassen eine grössere specifische Schwere besässen als das heissflüssige Erdinnere, welches sie verdrängen sollen; wir haben aber im Gegentheil alle Ursache zu vermuthen, dass die Dichtigkeit der Stoffe nach der Tiefe zu beträchtlich wächst. Auch hätte das Wechselspiel der Wagschalen längst schon zum Stillstand gekommen sein müssen, während das Sinken und Aufsteigen der Länder noch heutigen Tages allerorten fortdauert. Endlich könnten wir uns nicht erklären, wie Grönland abwärts schweben sollte, da es doch durch Abreibungsverluste beständig erleichtert, die Decke der angrenzenden Meere aber zugleich durch Aufschüttungen stärker belastet wird.

Unter den neueren Versuchen, die Entstehung der Gebirge zu erklären, verdient der des amerikanischen Geologen Dana eine besondere Beachtung [1]). Dana setzt voraus, dass die Erde vormals ein

[1]) James D. Dana: „On some Results of the Earth's Contraction from cooling" in dem American Journal of science and arts. Ser. III, Vol. V, p. 423—443. Vol. VI, p. 6—14. 161—172.

feuerflüssiger Körper war. Durch die unablässig fortschreitende Abkühlung erfuhr derselbe nothwendig eine Verkürzung seines Durchmessers, und die bereits starr gewordene Rinde warf nun um den sich bildenden Hohlraum Falten. Die continentalen Flächen erlitten demnach die geringste, die oceanischen Becken aber die grösste Contraction; beide, continentale Flächen wie oceanische Becken, gingen demnach aus der ungleichmässigen radialen Contraction („unequal radial contraction") des Erdkörpers hervor. Bei weiterem Rückzuge der Erdrinde wurde namentlich auf die oceanischen Flanken eines jeden Continentes ein starker Druck ausgeübt, woraus dann folgte, dass der mittlere Theil einer Continentalfläche allmählich muldenartig vertieft wurde. In das auf diese Weise entstandene Becken drang nun das Meer ein und lagerte hier seine Sedimente ab. Derartige Mulden (Geosynclinalen) sind die ersten Anfänge in der Entwicklung der Gebirge. Die Mächtigkeit der Ablagerungen in jenen Mulden ist natürlich örtlich sehr verschieden; in dem Appalachen-Gebiet von Pennsylvanien beträgt sie nach Hall 13 000 Meter, welche Grösse uns zugleich ein ungefähres Mass für die stattgefundene Senkung in dem centralen Theile der Continente liefert. Da nun die Eigenwärme eines Ortes im Erdinnern von der Tiefe desselben unter der Erdoberfläche abhängig ist, so stieg die Schmelzhitze unter den überlagerten Theilen in dem angeführten Falle 13 000 Meter empor und musste demnach den tiefsten Theil der Mulde anschmelzen. Derselbe wurde in seiner Consistenz geschwächt und gab dem Seitendrucke nach. So brach die Mulde auf ihrem Boden und wurde zusammengedrückt, wobei zugleich die in ihr abgelagerten Sedimentformationen bedeutende Störungen erlitten. Sie wurden zusammengebogen, geknickt, über einander geschoben, auf einen engeren Raum zusammengepresst und hierdurch zugleich emporgehoben. Ein auf diese Weise entstandenes Gebirge nennt Dana ein Synclinorium. Ein solches wird meist von einer Anzahl paralleler Falten gebildet, deren Sättel geborsten und deshalb der zerstörenden Kraft der Meteorwasser in hohem Grade ausgesetzt sind. Haben diese durch lange Zeiträume hindurch gewirkt und die Sattelzonen tief ausgefurcht, so bleiben schliesslich mehrere synclinale Schichtenzonen in Gestalt paralleler Ketten stehen.

Doch wurden durch den seitlichen Druck nicht bloss muldenförmige Vertiefungen (Geosynclinalen) geschaffen, sondern auch höckerförmige Ausbauchungen (Geanticlinalen oder Anticlinoria), in denen oft grosse Areale der Erdoberfläche Tausende von Metern über ihr ehemaliges Niveau aufgerichtet wurden. Fossilienhaltige Lager in den höheren Regionen der Rocky Mountains beweisen z. B., dass ein grosser Theil dieses Gebirges seit der Kreidezeit gegen 3000 Meter

über den Meeresspiegel gehoben worden ist. Die grössere Energie der Erhebung, welche die jüngeren Gebirge zeigen, erklärt sich nach Dana daraus, dass die Erdrinde damals an Steifheit zugenommen hatte, also widerstandsfähiger war und sich deshalb wirksamer nach oben drängen liess. Zu dieser Zeit vermehrte sich auch die Zahl der Spalten an den Rändern der Continente, wo die Gebirge emporgestiegen waren, weshalb hier fast ausschliesslich die vulcanischen Ergüsse erfolgen.

Dana's Hypothese passt vorzüglich für den geologischen Bau Amerika's; man könnte fast sagen, sie sei ihm zugeschnitten. Die Randketten Nordamerika's sind nämlich parallel den Längenaxen der angrenzenden Oceane, was um so auffallender ist, als diese nahezu einen rechten Winkel mit einander bilden; denn die Alleghanies, die Green Mountains, der Blue Ridge u. a. auf der atlantischen Seite streichen gegen Südwest, die Sierra Nevada, der Wahsatch, die Rocky Mountains u. a. auf der pacifischen Seite nach Südost. Ferner sind die Falten der Appalachen nicht symmetrisch, sondern kehren immer ihren Steilabfall dem Meere zu, woraus deutlich hervorgeht, dass der Sitz der gebirgerhebenden Kräfte an der oceanischen Seite zu suchen ist. Man ist hierzu um so mehr berechtigt, als die höchsten Ketten dem Ostrande angehören. Aehnliches gilt von dem westlichen Randgebirge Nordamerika's. Endlich zeigt sich sogar, dass das höhere Küstengebirge an dem grösseren Oceane, das unbedeutendere hingegen an dem kleineren Meere liegt.

Auch Dana betont, wie fast alle neueren Geologen, dass die Gebirgsbildung als ein ausserordentlich langsam fortschreitender Process zu betrachten sei. Die älteren Geologen huldigten der Ansicht, dass in den Vorzeiten unseres Planeten gewaltigere Kräfte als gegenwärtig die Erdrinde gefaltet und zerborsten, sowie die Gestalt der Erdfesten in jähen Wechseln verändert hätten. Zu den Vertretern dieser Ansicht gehörte Leopold v. Buch, an den sich A. v. Humboldt getreu anschloss, sowie Élie de Beaumont und Sir Roderick Murchison. Mit einem Ruck liessen sie Meerengen entstehen und gewaltige Fluthen über das Festland hereinbrechen oder Gebirge plötzlich aus Spalten aufsteigen. Ihre Gegner nannten sie deshalb Katastrophisten, wie sie selbst wiederum Quietisten geheissen wurden. Dana[1]) schätzt die Länge der geologischen Perioden in folgender Weise: Die erste bedeutende Störung des Schichtenbaues im Gebiet der Appalachen wird durch die Erhebung der Green Mountains bezeichnet, welche am Schlusse der unteren Silurperiode beendet wurde. Wenn nun der Zeitraum vom Beginn des Silurs bis zur Gegenwart 50 Mil-

[1]) American Journal of science and arts. Ser. III, Vol. V, p. 435.

lionen Jahre umfasst, — welche Schätzung die meisten der jetzigen Geologen für viel zu niedrig ansehen, — dann betrug derjenige, welcher zwischen dem Beginn der Primordialzeit und der Erhebung der Green Mountains liegt, wenigstens 10 Millionen Jahre. Die nächste Epoche grosser Schichtenstörung in dem Appalachen-Gebiet fällt in das Ende der Kohlenzeit, in welcher die Faltung der Alleghanies (von New-York bis Alabama) zum Abschluss gelangte, d. h. sie trat (wenn wir die obigen Zeitmasse zu Grunde legen) 35 Millionen Jahre [1]) nach dem Anfange des Silurs ein, so dass die Appalachen mindestens 35 Millionen Jahre zu ihrem Aufbau brauchten. So hat der seitliche Druck, welcher mit der Contraction der Erde verbunden ist, sicher auch anderwärts ausserordentlich langer Zeiträume bedurft, um diejenigen Kräfte zu entfalten, welche selbst mächtige Schichten zu beugen, aufzurichten, zu sprengen vermochten.

Einen höchst werthvollen Beitrag zu der Lehre von der Entstehung der Gebirge hat neuerdings Eduard Suess in seiner Schrift „Die Entstehung der Alpen" (Wien 1875) geliefert. Er findet wie Dana in dem Aufsteigen der Gebirge eine Aeusserung des Erstarrungsprocesses der Erdrinde, mit welchem eine Contraction tieferer Niveaux und eine Verschiebung der Erdoberfläche in horizontalem Sinne verknüpft war. Faltensysteme bildeten sich überall da, wo sich dieser Bewegung irgend ein Hinderniss entgegenstellte. Ein Musterbeispiel einer durch einseitigen Druck hervorgerufenen, durch Stauung an fremden Massen festgehaltenen Faltung ist der Schweizer Jura. Von seinen Ketten ist die den Alpen zugekehrte die höchste; nach Nordwesten zu werden sie immer niedriger und gehen zuletzt in ein welliges Tafelland über. Der gänzliche Mangel einer krystallinischen Centralkette reinigt den Schweizer Jura völlig von dem Verdachte, dass hier eruptive Gewalten die Gebirgsfalten erhoben haben. Der den Alpen zugewandte hohe und steile Bruchrand aber belehrt uns, dass sie einem von Südost her kommenden Drucke gehorchten, und der Parallelismus so vieler Kelten bezeugt uns auf das schlagendste, dass so grosse und allgemeine Wirkungen nicht durch geringfügige, auf beschränktem Raume thätige Kräfte veranlasst werden konnten, sondern nur durch eine einzige, mächtige, in horizontaler Richtung vorwärts drängende Kraft, welche die Schichten in ähnlicher Weise faltete, wie die Hand durch seitlichen Druck glatt liegendes Tuch zu falten vermag.

Eine gleiche Entstehung fordert Suess auch für andere Gebirge, insbesondere für die Alpen. Mit treffenden Gründen widerlegt er die

[1]) Diese Schätzungen der Längen geologischer Perioden sind auf die Maximalmächtigkeit der betreffenden Ablagerungen gegründet: sehr unsichere Data, aber die besten, welche wir besitzen.

Anschauung, dass das Emporsteigen derselben einst durch einen radial von der Tiefe der Erde gegen ihre Oberfläche wirkenden Druck verursacht wurde, welcher von den eruptiven Centralmassen ausging. Nach dieser Theorie müsste, was bisher fast allgemein als richtig galt, das als gluthflüssige Masse emporgedrungene Gestein in der centralen Zone von zwei gleichwerthigen Nebenzonen, den „nördlichen“ und „südlichen Kalkalpen“ umsäumt werden. Doch entspricht der geologische Bau unseres Hochgebirges keineswegs dieser Annahme; vielmehr entbehrt dasselbe nach neueren Untersuchungen dieser Symmetrie gänzlich. Suess betrachtet nun die Alpen nicht als ein einfaches, sondern als ein polygenetisches Gebirge, in welchem mehrere an einander geschobene Streifen vereinigt sind. Dies geschah aber durch tangentialen Schub, welcher von der concaven Innenseite, d. h. von Süd (bei der Westhälfte der Alpen von Südost, bei den östlichen Karpathen von Südwest) her wirkte und an einer Reihe älterer Schollen von altkrystallinischem Gestein an der convexen Aussenseite im Norden auf unbesiegbaren Widerstand stiess (z. B. an dem Massiv der Maurienne, dem Centralplateau von Frankreich, dem Wasgen- und Schwarzwald, der böhmischen Gneiss- und Granitscholle, sowie der podolischen Granitplatte). Jene tangential wirkende Kraft führte die zahlreichen parallelen Faltungen und Ueberkippungen an der Aussenseite, sowie die grossartigen Verwerfungen an der Innenseite der Alpen herbei, welch letztere den eruptiven Massen häufig als Ausweg dienten. Ihr Empordringen hatte also die Verwerfungen nicht zur Folge, sondern zur Bedingung.

Der allgemeine Verlauf aller Gebirge zwischen dem Apennin und den Karpathen, sowie die übereinstimmende Lage der steilen Innenseite gegen Südost oder Süd oder Südwest im Gegensatz zu der gefalteten Aussenseite weist unverkennbar auf die oben bezeichnete gemeinsame Aufrichtung aller dieser Ketten hin. Ebenso fanden sehr bedeutende horizontale Verschiebungen statt; denn es sind Ablagerungen, welche offenbar in verschiedenen Meerestheilen gebildet wurden, einander stellenweise räumlich nahe gerückt, wie z. B. der Gegensatz der karpathischen und ausserkarpathischen Kreideformation gezeigt hat [1]).

Die Lehren Dana's lassen sich übrigens, worauf Suess ebenfalls aufmerksam macht, nicht auf die Erhebung der Alpen anwenden. Vor allem verbietet der gewundene, den Hindernissen an dem äusseren Saum der Alpen bis zu einem gewissen Grade sich fügende Lauf der ein-

[1]) Auch Heim's vorzügliche „Untersuchungen über den Mechanismus der Gebirgsbildung im Anschluss an die geologische Monographie der Tödi-Windgällen-Gruppe“ (Basel 1878) bestätigen in den wesentlichen Punkten die Resultate Suess'.

zelnen Zweige des Alpensystems zuzugeben, dass die Alpenketten lediglich durch eine Senkung eines erweiterten Mittelmeerbeckens und durch das Heraufdrücken des sinkenden Randes erzeugt worden seien [1]).

So stehen sich also hinsichtlich der Aufrichtung der Gebirge noch manigfache Hypothesen gegenüber, und wenn auch bereits ein mächtiger Zug der Klärung durch das Nebelreich derselben hindurchgeht, so wird es doch, wie es scheint, noch einer langen, angestrengten Geistesarbeit bedürfen, das Problem der Gebirgserhebung einer völlig befriedigenden Lösung entgegenzuführen.

[1]) Eduard Suess, Die Entstehung der Alpen. S. 53.

XVII. Ueber Terraindarstellung.

Auf allen älteren Karten erscheinen die Gebirge als Reihen kleiner Maulwurfshügel, als ob sie das Auge von der vorliegenden Ebene betrachtet. Die Nachtheile dieser Methode springen sofort in die Augen: es bleibt uns hierbei nicht bloss die Neigung des von dem Beobachter abgewandten Gebirgsabhanges völlig unbekannt, sondern es kann auch derjenige Theil des Terrains, welcher sonst noch durch das Gebirge verdeckt wird, gar nicht kartographisch dargestellt werden. Erst später begann man die Unebenheiten der Erdoberfläche so zu behandeln, als ob der Beschauer über dem dargestellten Raume schwebe. So erhielten die Gebirge mit dachförmigen Abhängen ihre Raupengestalt. Die ersten Anfänge hiervon gewahrt man schon auf Joh. Bapt. Homann's „Provincia Brisgoia" vom Jahre 1718 [1]; auch Lacondamine's Karte von Quito [2] (erschienen im Jahre 1751) und die Karten zu Cook's Werken zeigen Schraffen; aber noch in dem Atlas von Malte Brun (Paris 1804) begegnen wir der Hügelform Erst am Beginne dieses Jahrhunderts hat der Engländer Arrowsmith die dachförmige Schraffirung allgemein durchgeführt [3].

Zuerst freilich fehlte ihr jede methodische Durchbildung. Ein recht charakteristisches Beispiel dafür finden wir in einem Buche von Friedrich Schultz („Ueber den allgemeinen Zusammenhang der Höhen", Weimar 1803). Blind erfüllt von Werner'schen Gedanken, wollte er keine andere gestaltende Kraft auf der Erdoberfläche gelten lassen als das Wasser; darum sah er auch die wasserscheidenden Linien als zusammenhängende Continentalrücken an. Er stellte nun

[1]) O. Peschel, Geschichte der Erdkunde. 2. Aufl. (herausgeg. von S. Ruge). München 1877. S. 701, Nota 1.

[2]) Zum Journal du Voyage. Paris 1751.

[3]) Pinkerton, Modern Geography. London 1807. Pref. p. XXXI.

den für leichtsinnige Kartenverfertiger verführerischen Satz auf: Wenn man ein richtiges Flussnetz habe, so könne man das Terrain ohne weiteres in die Karte eintragen, indem man an Stelle der wasserscheidenden Linien die Gebirge einzeichnet. Wie unbrauchbar diese Methode ist, würde sofort hervortreten, wenn man es z. B. versuchen wollte, nach ihr die Alleghanies darzustellen. Diese würden durch ein solches Verfahren in eine Menge von Nordwest nach Südost streichende Ketten zerlegt werden, während dieselben doch in Wirklichkeit von Südwest nach Nordost ziehen.

Ihre methodische Durchbildung erhielt die dachförmige Schraffirung durch den königlich sächsischen Major J. G. Lehmann († 1811). Er brachte für seine Karten eine Böschungsscala in Anwendung, die noch jetzt recht wohl benützt werden kann. Auf einen Raum von 5 Millimeter Breite kommen hiernach beispielsweise

30 Striche bei 30° Neigung,
20 „ „ 20° „
10 „ „ 10° „

Für Abhänge von mehr als 30° Neigung ist freilich eine weitere Verdichtung der Schraffen nicht möglich. Indess ist dieser Umstand nicht so schwer wiegend, da steilere Abhänge zu den grössten Seltenheiten gehören. Jeder wird zugeben, dass diese Methode in der Theorie an Exactheit nichts zu wünschen übrig lässt. Natürlich sind bei einzelnen Entwürfen je nach Beschaffenheit des Terrains und nach Massstab der Karte mancherlei Modificationen zulässig; nur darf das Princip selbst in seiner Wahrheit und Einfacheit nicht erschüttert werden.

Eine Verletzung des Lehmann'schen Princips ist jedoch die Einführung der seitlichen Beleuchtung. Man denkt sich nämlich das dargestellte Terrain von irgend einer Seite her von der Sonne bestrahlt, und zwar wählt man gewöhnlich nordwestliche Beleuchtung. Die Bilder einer Gebirgswelt gewinnen auf diese Weise eine gewisse Frische und eine landschaftliche Wirkung; sie werden ausserordentlich lebhaft und eindrucksvoll; allein die Exactheit der Lehmann'schen Zeichnung wird hierbei verloren. Einseitig beleuchtete Terrainbilder lassen uns über den Grad der Abschrägung auf der beleuchteten Seite stets im Zweifel; ja sie rufen unwillkürlich die Meinung hervor, dass die sanfteren Neigungen auf der Lichtseite, die steileren hingegen auf der Schattenseite des Gebirges sich vorfinden. Wir bewundern die hohe technische Vollendung der Karten vom Alpen- und Pyrenäengebiete in der neuen Auflage von Stieler's Handatlas. Ohne Zweifel stehen sie künstlerisch ausserordentlich hoch; allein da an den beleuchteten Stellen das geistige Auge die Terraingestaltung gleichsam sich selbst hineinzeichnen muss, so wendet man sich im Grunde an die

Phantasie, welche zu verdrängen doch recht eigentlich der Beruf der Wissenschaft ist.

Alle Kunst des Schraffirens scheitert jedoch, sobald die Darstellung einer Hochebene gefordert wird. Wir gelangen hier in der That zu der schwierigsten Aufgabe der Terrainzeichnung. Hochebenen besitzen gewöhnlich einen einseitigen, höchstens zweiseitigen Steilabsturz, während sie nach den übrigen Richtungen hin sanft und kaum merklich geneigt sind. Daher kommt es, dass das Terrainbild einer Hochebene fast genau dieselbe Monotonie verräth, wie dasjenige eines Tieflandes; ein deutlich hervortretender Unterschied zwischen beiden ist kaum zu bemerken. Deshalb macht weder das iberische, noch das skandinavische Plateau auf unseren Karten den Eindruck einer Hochebene; viel eher würde man weite Strecken derselben für Tiefländer halten. Derartige Gebiete können nur durch Herbeiziehung eines Flächencolorits, d. h. auf Höhenschichtenkarten klar dargestellt werden.

Die Idee, Niveaucurven auf Karten einzuführen, rührt von dem französischen Geographen Phil. Buache her (geb. 1700 zu Paris, gest. daselbst 1773). Er brauchte sie zunächst, um die Unebenheiten des Meeresbodens zu veranschaulichen; sein Versuch, sie auf's feste Land zu übertragen, blieb jedoch ohne Bedeutung. Ihre hohe Wichtigkeit für die Terrainzeichnung wurde erst von Ducarla (1738—1816) klar erkannt. War er auch nicht selbst ausübender Kartograph, so regte er doch wenigstens seinen Freund Dupain-Triel (geb. 1722, gest. 1805 in Paris) zum Entwurf der ersten Höhenschichtenkarte von Frankreich an. Diese erschien im Jahre 1791 und enthielt Niveaucurven im Verticalabstand von 10 zu 10 Toisen [1]).

Das Princip, Punkte von gleicher Meereshöhe durch Linien zu verbinden, ist so einfach und richtig, dass man sich über sein spätes Hervortreten wundern könnte, wenn man nicht bedächte, dass die Herstellung hypsometrischer Karten zahlreiche Höhenbestimmungen voraussetzt. Konnte doch noch im Jahre 1807 A. v. Humboldt als Anhang zu seinen „Ideen zu einer Geographie der Pflanzen“ auf der ganzen Erde nur 122 Gipfelmessungen aufzählen! Im Anfang dieses Jahrhunderts wusste man nicht einmal die Meereshöhen grosser Städte genau; man besass von ihnen nur unsichere Barometermessungen, die um so trügerischer waren, je weiter binnenwärts die gemessenen Punkte lagen. Seit Anlegung der Eisenbahnen sind wenigstens die Bahnhofshöhen mit hinreichender Genauigkeit ermittelt, und doch sind wir noch nicht im Stande, selbst von Ländern, die mit einem dichten Eisenbahnnetz überzogen sind, genaue hypsometrische Karten zu entwerfen.

[1]) Peschel, l. c. S. 703 ff.

Zur Anfertigung einer solchen vom Königreich Sachsen sind nach Karl Bruhns mindestens 2000 gleichmässig über das Land vertheilte Seehöhen, also durchschnittlich 7 auf die Quadratmeile nothwendig. Da bis jetzt noch kein Land dieser Forderung Genüge leisten kann, so sind auch alle Höhenschichtenkarten, selbst die centraleuropäischer Länder, nur von provisorischem Werthe.

In neuerer Zeit werden wir jedes Jahr durch das Erscheinen von Höhenschichtenkarten der verschiedensten Länder erfreut, und schon hört man hie und da die Meinung, dass unsere bisherigen orographischen Karten gar bald völlig überflüssig werden. Davon kann aber nur dann die Rede sein, wenn der Verticalabstand der Niveaucurven sich bis auf eine sehr kleine Grösse verringert; selbst bei topographischen Aufnahmen in den grossen Massstäben zwischen 1 : 20 000 und 1 : 40 000 genügt die Construction von Niveaucurven von 5 bis 15 Meter Aequidistanz nicht völlig zur genauen Bezeichnung der Bodengestalt, sondern es bedarf noch der besonderen Markirung aller Schluchten, Mulden, Einsattelungen, scharfer Kanten u. s. w., also der Vereinigung von Hypsometrie und Orographie. „Während die orographische Karte durch die hypsographische übersichtliche, charakterisirende Gliederung und Aufklärung erhält, so empfängt die hypsographische Karte durch die orographische specialisirende Schärfe und Ergänzung. Es bleibt also die Vereinigung beider Elemente auf einem einzigen Bilde das Vollkommenste. Ducarla liefert das zwar schmucklose, aber scharf bestimmende Gerippe, Lehmann das Gewand zur Erleichterung des schnellen Auffassens der Form[1]).“

Zu den vorzüglichsten kartographischen Arbeiten der Neuzeit gehört die von J. M. Ziegler im Auftrage des Schweizer Generalstabes publicirte hypsometrische Karte der Schweiz; doch bemerken wir auch an ihr zwei Fehler, auf welche wir, da sie sich mehr oder weniger auf fast allen hypsometrischen Karten finden, besonders aufmerksam machen möchten.

Der erste betrifft die Wahl der Isohypsen. Es sind dort die Isohypsen von 2500, 2100, 1500, 1200, 900, 700, 500 und 400 Meter Meereshöhe ausgezeichnet; die verticalen Isohypsenabstände betragen demnach in gleicher Reihenfolge 400, 600, 300, 300, 200 und 100 Meter. So gewählte Isohypsen theilen zwar ein Gebiet in gewisse Höhenregionen und deuten auch die verticale Gliederung eines Landes in allgemeinen Zügen an; aber sie gestatten nicht, die Neigung der Abhänge ohne weiteres von der Karte abzulesen. Hierzu bedarf es vielmehr gleichabständiger Isohypsen. Diese erst gewähren uns

[1]) E. v. Sydow in Behm's Geographischem Jahrbuch. Bd. I (1866), S. 353 f.

ein scharf markirtes Bild nicht bloss einzelner Höhenstufen, sondern der gesammten Elevationsverhältnisse; denn durch den grösseren oder geringeren Abstand derselben von einander werden wir unmittelbar über die Abdachung der Gebirge, das Gefälle der Flüsse etc. belehrt. Wo die Isohypsen eng an einander rücken, erblicken wir schroffe Abstürze des Gebirges, wo sie hingegen in weiten Zwischenräumen auf einander folgen, sanfte Gehänge.

Der andere Fehler der Ziegler'schen Karte besteht in der irrationalen Farbengebung; denn es sind Blau, Gelb, Grün und Roth in regelloser Mischung zur Bezeichnung der verschiedenen Höhenstufen verwandt. Es ist wirklich hohe Zeit, dass die hypsometrischen Karten ihr buntes Gewand ablegen. Welch mühevolle Vergleichung und Anstrengung der Phantasie ist nothwendig, wenn man aus dem bunten Gemisch der vielen Farben ein klares Terrainbild gewinnen will! Unsere Forderung in dieser Beziehung lautet: Die hypsometrische Karte darf nur eine Farbe besitzen, und für die einzelnen Höhenstufen sind verschiedene Nüancen derselben zu gebrauchen. Nun ist es die Frage, ob die Höhenstufen von unten nach oben dunkler oder lichter werden sollen. Uns erscheint es am zweckmässigsten, weil der Natur besser entsprechend, von den dunklen zu den lichten Farbentönen aufwärts zu steigen; denn die Höhen geniessen den Lichtblick der Sonne in reicherem Masse als die Thäler. Indem wir die Hauptfarbe nach oben hin immer lichter werden lassen, empfangen die Thäler ihre Schatten, und die Berge treten, lichtvoll gehoben, neben ihnen heraus: die Karte erhält so den Ausdruck eines plastischen Gemäldes [1]).

Bisher hat nur General v. Sonklar eine derartige Farbenwahl getroffen. Seine Karten der Oetzthaler und Zillerthaler Alpen, sowie der Hohen Tauern sind plastische Gemälde. Vergleicht man das Farbenchaos einer hypsometrischen Karte von Ziegler, welches eher das Terrainbild verhüllt, als zu den richtigen Eindrücken führt, mit der ruhigen Wirkung der Sonklar'schen Darstellung, so kann kein Zweifel bestehen, dass diese Methode die siegreiche bleiben muss. Gegen diese Behandlung wehrt sich freilich die Landkarten-Industrie; denn da die meisten Ortsnamen dem Flachlande angehören, so müssten sie auf dem dunklen Grunde unleserlich ausfallen. Doch würde diesem Uebelstande abgeholfen, sobald man die Ortsnamen durch Aussparung auf dem dunklen Grunde weiss erscheinen liesse [2]).

[1]) Vgl. Gustav Leipoldt in Andree-Peschel, Physikalisch-statistischer Atlas des Deutschen Reichs. Leipzig 1876. Erläuternder Text, S. 3.

[2]) Der Herausgeber dieses Werkes hält es für geboten, an dieser Stelle

Eine Anwendung dieser Methode auf die Darstellung der Seetiefen ist leicht zu machen, wenn man, von einem lichten Blau an seichten Stellen ausgehend, zu einem dunklen für grössere Tiefen fortschreitet.

Zum Entwurf genauer Terrainbilder sind zahlreiche und genaue Höhenbestimmungen erforderlich. Für unseren Erdtheil wird es wohl in Zukunft hieran nicht fehlen; denn fast in allen Staaten Europa's wird — Dank dem regen Eisenbahnbau — mit grossem Fleiss an der Ermittelung solcher gearbeitet. Durch das in mehreren deutschen Staaten (zuerst in Sachsen und Bayern) zur Geltung gekommene Präcisions-Nivellement werden die Höhendifferenzen auf 1 Kilometer Weglänge bis zu 1 Millimeter, auf 100 Kilometer Weglänge bis zu 10 Millimeter Genauigkeit gemessen (die Fehler wachsen nämlich wegen häufiger Compensirung sicher nur wie die Quadratwurzeln der Entfernung). Zahlreiche derartige Höhenbestimmungen werden uns in Zukunft Mittel an die Hand geben, wenn auch vielleicht nur für kleinere Gebiete, die genauesten hypsometrischen Karten zu entwerfen.

Sind dieselben auch heute schon für die Terrainkenntniss von hohem Werth, so wird man doch einstmals noch einen anderen unschätzbaren Gewinn aus ihnen ziehen. Wir reden immer vom Aufsteigen der Gebirge, weil wir Merkmale eines stattgefundenen Aufsteigens mit unseren Augen wahrgenommen haben. Dauert aber nicht vielleicht die Hebung der Gebirge fort? Lag die Bauflur dieser oder jener Stadt vor einem Jahrtausend genau so hoch über dem Meere als gegenwärtig? Ist sie vielleicht gestiegen oder gesunken? Auf alle diese Fragen sind wir geneigt zu antworten, dass die vorhandenen Niveaux sich nicht mehr ändern. Eine Bürgschaft für diese gute Meinung besitzen wir aber nirgends; denn jedenfalls gebrauchen solche Sckwan-

auf den grellen Widerspruch aufmerksam zu machen, welcher zwischen Peschel's Gedanken über Terrainzeichnung und der von dem Herausgeber entworfenen Höhenschichtenkarte des Deutschen Reichs (Karte I in dem oben erwähnten Atlas) besteht. Der Autor der Karte hat nicht unterlassen, gegen die Farbenzusammenstellung wie gegen übereinstimmende Färbung zweier benachbarter Höhenschichten energisch zu protestiren. Hierauf wurde ihm mit aller Bestimmtheit erwidert, dass die Technik unmöglich hier Peschel's Grundsätzen gerecht werden könne. So musste der Autor zu seinem grossen Bedauern, um den Gesammtplan des Werkes nicht noch in letzter Stunde zu stören, in ein Verfahren einwilligen, welches Peschel's Genehmigung nimmermehr erhalten hätte. Der Herausgeber beklagt dies um so mehr, als ein so competenter Beurtheiler wie Behm hierüber äussert: „Bei einer neuen Auflage würde sich dieser Uebelstand (die Buntheit der Karte) leicht durch die Wahl anderer Farben beseitigen lassen.“ (Petermann's Mittheilungen 1877, S. 154.)

kungen lange Zeit und entziehen sich vor einer Nivellirung jeder Beobachtung. Die neuesten strengen Höhenmessungen und die auf sie gegründeten hypsometrischen Karten gewähren späteren Generationen das Mittel, bestimmt aussprechen zu können: Die Oberfläche der Erde ruht oder sie bewegt sich örtlich in diesem oder jenem Sinne. Vielleicht wird sogar eine genaue Berechnung des Hebungs- und Senkungsbetrags für grössere Länderräume möglich sein.

Sind Schüler im Schraffiren noch ungeübt oder hat man nur einen schematischen Zweck beim Entwurf der Karte im Auge, so ist es zulässig, die Gebirgskämme durch einfache Linien zu bezeichnen. Mangelhaft bleibt diese Methode immer, weil sie die grössere oder geringere Neigung der Kammgehänge in keiner Weise berücksichtigt. Vor allen Dingen aber lässt sie uns im Stich, wenn es gilt, Gebirgsstöcke (z. B. die Oetzthaler Gruppe) oder Massengebirge (z. B. den Harz) oder Hochebenen (wie die skandinavische) zu zeichnen. Im letzteren Falle könnte man sich dadurch helfen, dass man ein liegendes dreiseitiges Prisma mit einseitigem Steilabsturz (seitwärts von oben gesehen) in die Karte eintrüge.

Wesentlich gefördert wird die Uebersichtlichkeit des Terrainbildes durch Querschnitte, die am besten am Rande der Karte so angebracht werden, dass sie auch im Einzelnen mit ihr correspondiren. Schon ehe Buache zu seiner Niveaukarte des Canal la Manche (erschienen im Jahre 1752) ein Längenprofil des Seebodens von der Nordsee durch den Canal bis zum Atlantischen Ocean entworfen hatte, waren Höhenquerschnitte im Kleinen bereits bei Berg- und Canalbauten im Gebrauch [1]). Die ersten Querprofile von Gebirgen und zwar von Anden, Pyrenäen und Alpen, oder richtiger eine bildliche Darstellung von deren Gipfeln, schuf der Franzose Pasumot im Jahre 1783 [2]). Die den Zähnen einer Säge gleichenden Gipfel wurden in Höhenscalen eingezeichnet, wie es noch jetzt häufig geschieht. Weit ernster und für die Wissenschaft erspriesslicher war der Entwurf von Höhenquerschnitten ganzer Länder. Das erste Länderprofil hat Dupain-Triel 1791 geliefert in seiner Karte: La France, considerée dans les differentes hauteurs de ses plaines. Namentlich gelangte man durch A. v. Humboldt, der im Querschnitt den senkrechten Bau

[1]) A. v. Humboldt, Essai politique sur la Nouvelle Espagne. Paris 1811. Tome I, p. 150.

[2]) Pasumot's Bild von den Anden-, Pyrenäen- und Alpengipfeln erschien bei Rozier, Observations sur la physique. Tome XXIII. Paris 1783. Septembre. p. 193 sq.

Spanien's und Mexico's enthüllt hatte [1]), zum vollen Bewusstsein ihrer Bedeutung [2]).

Auch bei A. v. Humboldt begegnen wir jedoch der Neigung, die Kammgehänge steiler darzustellen, als sie es in Wirklichkeit sind, und ebenso tritt bei den später gezeichneten Profilen dieses Bestreben mehr oder minder hervor. Erst seit General v. Sonklar den wichtigen Begriff des Gebirgssockels in die Orometrie eingeführt hat [3]), werden wir davor bewahrt, das Gefäll der Kammgehänge zu überschätzen. Er denkt sich ebenso wie A. v. Humboldt die Gebirgsketten als liegende Prismen; doch ruht die als Grundfläche dienende Seitenfläche nicht in der Höhe des Meeresspiegels, sondern auf einem als vierseitiges stehendes Prisma zu betrachtenden Sockel. Ist die Höhe des Gebirgssockels, d. h. die Thalhöhe ermittelt und kennt man ferner die Kammhöhe, sowie den horizontalen Abstand des Gebirgsfusses von der Kammlinie, so lässt sich übrigens der mittlere Neigungswinkel der Kammgehänge leicht berechnen nach dem Ausdruck $\text{tang}\ \alpha = \frac{n}{m}$, wo α den zu suchenden Winkel, n die relative Höhe des betreffenden Punktes der Kammlinie und m die horizontale Entfernung dieses Punktes vom Fusspunkte der Gebirgskette bedeutet [4]).

Ueber den Betrag solcher Winkel herrschten vor C. v. Sonklar's Arbeiten übertriebene Abschätzungen, bei denen eine Sinnestäuschung offenbar mit im Spiele war. In den fünf von v. Sonklar vermessenen Gruppen der Ostalpen überschreitet die mittlere Schroffheit der Gehänge nicht einen Winkel von 27° und sinkt in der Hochschwab-Gruppe sogar auf 17° 11′ herab [5]). Während Alpenneulinge überall „lothrechte Felsen“ wahrnehmen, sind in Wirklichkeit Abstürze von 90° äusserst selten und nur auf ganz kleine Ausdehnung beschränkt. Als man vor Jahren Fallversuche in der Schweiz machen wollte und deshalb nach lothrechten Felswänden suchte, fand man thatsächlich nur zwei dazu geeignete Punkte. Ganz ausnahmsweise jähe Abstürze trifft man am Nordwestabfall der Zugspitze gegen den Eibsee (55—62°), am gleichen Abhange des Mönches (63°) und des

[1]) Humboldt hat in den Ansichten der Natur (Bd. I, S. 59) seinen Anspruch auf die Erfindung der ganze Länder darstellenden Querprofile sehr entschieden geltend gemacht; offenbar war ihm die Arbeit Dupain-Triel's nicht bekannt.

[2]) O. Peschel, Geschichte der Erdkunde. 2. Aufl. (herausgeg. von S. Ruge). S. 699 ff.

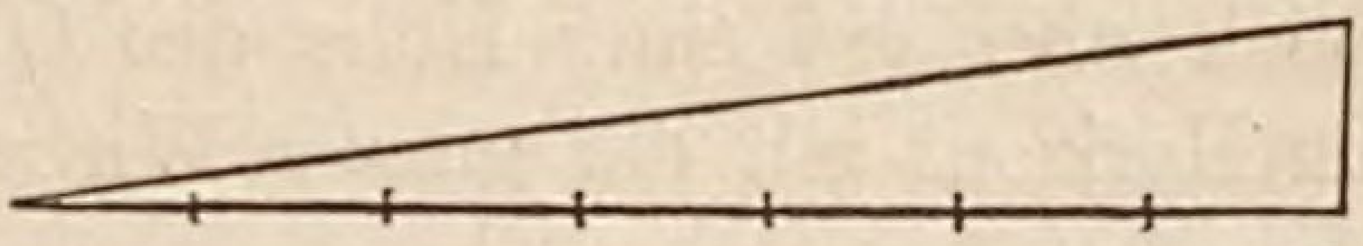
[3]) C. v. Sonklar, Allgemeine Orographie. Wien 1873. S. 187.

[4]) C. v. Sonklar, l. c. S. 79.

[5]) l. c. S. 185.

Matterhorns (50°); der ostsüdöstliche Abhang des letzteren zeigt eine Neigung von 55°. Felswände von 80 bis 85° Neigung sind in den Alpen und im Himalaya nur an wenigen Punkten vorhanden; solche von 90° aber gehören zu den grössten Seltenheiten [1]). Die Kämme des Himalaya fallen bekanntlich steil zur hindostanischen Ebene ab, und doch sind nach Emil v. Schlagintweit [2]) beim Anstieg auf den Kilometer Entfernung nur 140 Meter Steigung zu überwinden, d. h. die Grösse der Steigung verhält sich zur Länge des Weges wie 1 : 7 (s. Fig. 92).

Fig. 92.



Mittlere Neigung des Südabhangs des Himalaya.

Die falschen Vorstellungen von der Neigung der Kammgehänge sind zu einem nicht geringen Theil eine Folge der fast ausnahmslos verzerrten Querprofile auf unseren Karten. Um die Berge recht markirt erscheinen zu lassen, giebt man der Höhe möglichst grosse, der Länge möglichst kleine Masse, und so entstehen jene Bergcaricaturen, welche im Kindesalter unser Staunen erwecken. Wie enttäuscht sind wir dann, wenn uns in späteren Jahren die Berge in ihrer wahren Gestalt entgegentreten! Wir fordern daher: Entweder möge man naturgetreue Profile entwerfen, d. h. solche mit gleichen Höhen- und Längenmassstäben, oder man möge sie zum Zwecke der Terraindarstellung überhaupt nicht brauchen, da sie sonst die wahre Erkenntniss mehr hindern als fördern.

Noch aus einem anderen Grunde überschätzen wir mit Vorliebe die Neigung der Abhänge. Die Projection der Gegenstände nach aussen mit beiden Augen und die darauf basirende Gabe de Triangulation mit unseren Augen erweist sich bei Beurtheilung von Entfernungen um so weniger zuverlässig, je weiter der beobachtete Gegenstand uns entrückt ist. Wir sind deshalb genöthigt, den Abstand weit entfernter Gegenstände meist nach ihrer Farbe zu bemessen. Farbentöne hängen unter anderem auch von der Beschaffenheit der Luft ab. Da nun die Luft nach oben meist reiner wird, so sehen wir die Spitzen eines Gebirges häufig klarer als die unteren Partien; deshalb aber rücken wir sie unwillkürlich im Geiste näher an uns heran, und so bilden sich in unserer Phantasie die steileren

[1]) Herm. v. Schlagintweit-Sakünlünski, Reisen in Indien und Hochasien. Jena 1871. Bd. II, S. 262.

[2]) Zeitschrift Globus, Bd. XXIX (1876), Nr. 16, S. 248.

Abhänge. Namentlich täuschen die Schneespitzen der Berge in dieser Hinsicht. Ihr helles Weiss bringt die Gegenstände näher, und so wächst in unserer Vorstellung der Neigungswinkel. Um grösseren Irrungen von vornherein vorzubeugen, ist es gut, sich äussere Zeichen für gewisse Neigungsverhältnisse zu merken, z. B. am nächtlichen Sternenhimmel zu studiren, welche Bewegung des Auges erforderlich ist, damit es einen Stern, der in irgend welcher Höhe über dem Horizont steht, fasse. Dabei wird sich ungefähr ergeben, dass sich bei gerader Stellung des Kopfes durch blosse Bewegung der Augenmuskeln das Gesichtsfeld bis 30 Grad über den Horizont erhebt, dass man aber, um den Blick 30 bis 50 Grad über denselben emporzulenken, mit den Halswirbeln, schliesslich aber bei einer Höhe des Objectes von mehr als 60 Grad über dem Horizont mit der ganzen Wirbelsäule eine kleine Bewegung zu vollziehen hat.

Um so vielfach vorhandene irrige Meinungen über Abdachungsverhältnisse zu beseitigen, führen wir noch folgende Neigungswerthe an, welche Élie de Beaumont im vierten Theile der Mémoires pour servir à une description géologique de la France mitgetheilt hat [1]):

Dem Auge kaum bemerkbare Neigung	0° 10′	oder	$^1/_{344}$ [2])
Für das Auge schon sehr merkliche Neigung	0° 20′	„	$^1/_{172}$
Grösste bei den Hauptstrassen in Frankreich erlaubte Neigung	2° 52′	„	$^1/_{20}$
Maximalneigung der Simplonstrasse	5° 43′	„	$^1/_{10}$
Neigung, welche für bergab fahrendes Fuhrwerk schon gefährlich ist, ...	9° 10′	„	$^1/_{6,2}$
Für Fuhrwerk nicht mehr zu überwindende Neigung	13° 0′	„	$^1/_{4,33}$
Grösste Neigung einer mit Steinplatten belegten Fläche, auf welcher man noch sicher auf- und niedergehen kann, ...	25° 0′	„	$^1/_{2,14}$
Neigung einer Treppe, deren Stufen doppelt so breit als hoch sind, ...	26° 34′	„	$^1/_2$
Grösste Neigung, welche beladene Maulthiere noch zu passiren vermögen, ...	29° 0′	„	$^1/_{1,8}$
Neigung eines von Menschen kaum noch zu erklimmenden Abhanges	37° 0′	„	$^1/_{1,33}$

Diese Zahlen beweisen unzweideutig, dass unser Misstrauen gegen die Mehrzahl der vorhandenen Querprofile völlig gerechtfertigt ist;

[1]) Nach C. F. Naumann, Lehrbuch der Geognosie. 2. Aufl. Leipzig 1858. Bd. I, S. 311.

[2]) Der Neigungsquotient $^1/_{344}$ sagt aus, dass die geneigte Ebene auf 344 Meter ihrer Horizontalprojection 1 Meter hoch ansteigt.

denn nicht selten werden hier Abhänge, die von Reisenden wiederholt überschritten worden sind, mit einer Neigung von 40—60° gegen die Horizontale in die Profile eingetragen.

Endlich sei noch eine Art der Terraindarstellung erwähnt, welche zunächst mehr als irgend eine andere dazu geeignet erscheint, ein lebendiges Bild der senkrechten Gliederung eines Landes zu gewähren: die Reliefarbeit. Die ältesten erhabenen Karten entstanden da, wo die Natur durch ihr reich bewegtes Relief am meisten dazu herausforderte: in der Schweiz, und das früheste Denkmal dieser Art ist die grosse Arbeit aus Wachs, welche Ludwig Pfyffer im Jahre 1766 begann und 1785 vollendete [1]. In unserer überall nach Anschauung ringenden Zeit werden noch immer viele Reliefkarten angefertigt, und doch müssen wir die meisten derselben, namentlich aber die Reliefgloben, geradezu als hassenswerth bezeichnen, weil sie lügen. Höhen- und Flächenmassstäbe sind nämlich fast stets möglichst verschieden; in Folge dessen werden diese Reliefs zu Zerrbildern, welche nicht wieder auszutilgende falsche Vorstellungen erzeugen.

Zur näheren Charakteristik der Reliefgloben diene Folgendes. Der höchste Berg der Erde, der Gaurisankar, hat eine Höhe von 8840 Metern, also von c. $1\frac{1}{5}$ geogr. Meilen, d. i. von ungefähr $\frac{1}{1430}$ des Erddurchmessers. Auf einem Globus von $\frac{3}{4}$ Meter Durchmesser (also einem Globus von bedeutender Grösse) würde demnach jene Dimension auf c. $\frac{1}{2}$ Millimeter, d. h. auf die Dicke eines kleinen silbernen Zwanzigpfennig-Stückes zu reduciren sein; unsere Alpen aber würden die Höhe eines Sandkörnchens erhalten müssen.

Es soll übrigens nicht geleugnet werden, dass es auch wirklich gute Reliefs giebt. Wir erinnern namentlich an die von Winkler in München angefertigten. Winkler entwirft die Höhen genau nach demselben Massstabe wie die horizontalen Entfernungen; dazu giebt er Flüssen, Wäldern, Feldern, Weiden besondere Farben, ebenso dem verschiedenen Gestein der Oberflächenschichten. In solchem Falle sind die Reliefs treffliche Anschauungsmittel und in hohem Grade zur raschen und klaren Orientirung über ein Terrain geeignet.

[1]) Studer, Geschichte der Geographie der Schweiz. S. 293.

Pierer'sche Hofbuchdruckerei. Stephan Geibel & Co. in Altenburg.

J. G. LURTZ
Buchbinderei
Liniir-Anstalt &
Geschäfts-Bücherfabrik
BAMBERG.

BSB Bayerische StaatsBibliothek

MDZ Münchener DigitalisierungsZentrum Digitale Bibliothek

Leipoldt, Gustav,

Physische Erdkunde

Bd.: 1

(1879)

Bamberg, Staatsbibliothek -- Phys.geogr.o.20-a(1
urn:nbn:de:bvb:12-bsb11763492-6